

**ESTIMASI KANAL *MOBILE-TO-MOBILE* RAYLEIGH FADING
BERDASARKAN SUSUNAN PILOT
PADA SISTEM OFDM**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Jurusan Teknik Elektro



Oleh:

M. NURSARIFUDDIN
10855002931

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN
ESTIMASI KANAL *MOBILE-TO-MOBILE* RAYLEIGH FADING
BERDASARKAN SUSUNAN PILOT
PADA SISTEM OFDM
TUGAS AKHIR

Oleh :

M. NURSARIFUDDIN
10855002931

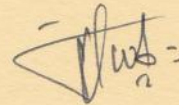
Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 09 Juli 2013

Koordinator TA



Sutoyo, ST., MT
NIK. 130 508 080

Pembimbing



Mulyono, ST., MT
NIK. 130 508 081

LEMBAR PENGESAHAN
ESTIMASI KANAL *MOBILE-TO-MOBILE* RAYLEIGH FADING
BERDASARKAN SUSUNAN PILOT
PADA SISTEM OFDM

TUGAS AKHIR

Oleh :

M. NURSARIFUDDIN
10855002931


Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 09 Juli 2013


Pekanbaru, 09 Juli 2013

Mengesahkan,

Dekan

Ketua Jurusan


Dra. Hj. Yenita Morena, M.Si
NIP. 19601125 198503 2 002


Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc
NIP. 19760724 200710 1 003

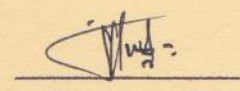
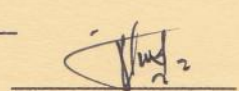

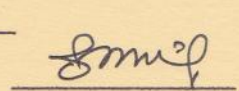
DEWAN PENGUJI :

Ketua : Mulyono, ST., MT

Sekretaris : Mulyono, ST., MT

Anggota I : Dr. Teddy Purnamirza, ST., M.Eng

Anggota II : Sutoyo, ST., MT

**ESTIMATED CHANNEL MOBILE-TO-MOBILE RAYLEIGH FADING
BASED ORGANIZATION PILOT
OFDM SYSTEM**

**M. NURSARIFUDDIN
NIM : 10855002931**

Date of Final Exam :

*Department of Electrical Engineering
Faculty of Sciences and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas St No. 155 Pekanbaru-Indonesia*

ABSTRACT

Orthogonal Frequency Division Multiplexing is a multicarrier transmission technique that divides the high-speed serial data into parallel subcarriers orthogonal to each other at relatively low speeds. With orthogonal properties, the overlap between the subcarriers. Each subcarrier has a narrow bandwidth, makes the signal resistant to frequency selective. Weakness OFDM vulnerable to frequency offset errors of the Doppler shift in the mobile channel. On channel mobile-to-mobile Rayleigh fading greater the Doppler shift causes a Doppler spread wide. For channel estimation was done to address this problem. In this study used channel estimation technique based on block type pilot and comb type pilot. Pilot block type will be estimated by least squares and minimum mean square error, while the comb type pilot will be estimated by linear interpolation and second order. Performance estimates will be tested with the mean square error and zero forcing equalizer based on BER. Channel estimation by block type pilots provide simulation results that are less good. Channel estimation with pilot type comb using a second order interpolation gives a pretty good simulation results for normalized Doppler frequency of 0.06 reaching 10^{-3} BER with E_b/N_0 of 26 dB and MSE of 0.0012.

Keywords : Doppler spread, estimation, interpolation, least squares, minimum mean square error.

**ESTIMASI KANAL *MOBILE-TO-MOBILE* RAYLEIGH FADING
BERDASARKAN SUSUNAN PILOT
PADA SISTEM OFDM**

**M. NURSARIFUDDIN
NIM : 10855002931**

Tanggal Sidang :
Tanggal Wisuda :

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Orthogonal Frequency Division Multiplexing adalah teknik transmisi *multicarrier* yang membagi data serial kecepatan tinggi menjadi *subcarrier* paralel saling *orthogonal* dengan kecepatan relatif rendah. Dengan sifat *orthogonal*, maka antara *subcarrier* saling *overlap*. Setiap *subcarrier* memiliki *bandwidth* yang sempit, membuat sinyal tahan terhadap frekuensi selektif. Kelemahan OFDM rentan terhadap kesalahan frekuensi *offset* dari pergeseran *Doppler* pada kanal *mobile*. Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* pergeseran *Doppler* semakin besar menyebabkan *Doppler spread* menjadi lebar. Untuk itu dilakukan estimasi kanal untuk mengatasi permasalahan ini. Pada penelitian ini digunakan teknik estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok dan pilot tipe *comb*. Pilot tipe blok akan diestimasi dengan *least square* dan *minimum mean square error* sedangkan pilot tipe *comb* akan diestimasi dengan interpolasi linier dan orde dua. Kinerja estimasi akan diuji dengan *mean square error* dan *equalizer zero forcing* berdasarkan BER. Estimasi kanal dengan pilot tipe blok memberikan hasil simulasi yang kurang baik. Estimasi kanal dengan pilot tipe *comb* yang menggunakan interpolasi orde dua memberikan hasil simulasi yang cukup baik untuk frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.06 yaitu mencapai BER 10^{-3} dengan Eb/No sebesar 26 dB dan MSE sebesar 0.0012.

Kata kunci : *Doppler spread*, Estimasi, interpolasi, *least square*, *minimum mean square error*.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahim.

Assalamu'alikum Wr.Wb

Puji syukur penulis sampaikan atas kehadiran Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis. Dan tak lupa pula shalawat beriring salam buat junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW, beliaulah seorang sosok pemimpin dan tauladan bagi seluruh umat didunia yang patut dicontoh dan diteladani bagi kita semua. Atas kesempatan dan ridho Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik yang berjudul “ESTIMASI KANAL *MOBILE-TO-MOBILE* RAYLEIGH *FADING* BERDASARKAN SUSUNAN PILOT PADA SISTEM OFDM.”

Setelah melalui proses bimbingan dan pengarahan yang telah disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada di sekeliling penulis sehingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA RIAU harus membuat karya ilmiah berupa tugas akhir guna mencapai gelar sarjana.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap terlaksananya penelitian dan penulisan laporan ini, terutama sekali kepada :

1. Ayahanda Sugiran dan ibunda Mistun yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi serta dukungan moril dan juga material kepada penulis beserta seluruh keluarga besar penulis yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
2. Prof. Dr. H. Nazir Karim selaku rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Dra. Hj. Yenita Morena, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.

4. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc selaku ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau yang telah mengizinkan penulis dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.
5. Mulyono, ST., MT selaku pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu dan pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan arahan dan bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Dr. Teddy Purnamirza, ST.,M.Eng selaku dosen penguji I yang telah bersedia memberikan kritikan dan saran terhadap penulis selama penulisan tugas akhir ini.
7. Sutoyo, S.T., MT selaku dosen penguji II yang dengan ikhlas meluangkan waktunya untuk memberikan kritikan dan saran kepada penulis demi kebaikan penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
8. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Rifaldi husni saih, M. yusuf daulay, Rahman hidayat, Amal, serta teman-teman teknik elektro telekomunikasi angkatan 2008 yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan, sehingga kritik dan saran dari seluruh pembaca sangat penulis harapkan demi sempurnanya laporan penelitian ini. Demikian semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

DAFTAR ISI

COVER.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
ABSTRAK.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR RUMUS	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	I-1
1.2 Rumusan masalah	I-2
1.3 Tujuan penelitian	I-2
1.4 Batasan masalah	I-3
1.5 Manfaat penelitian	I-3
1.6 Metode penelitian	I-3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)</i>	II-1
2.2 Kelebihan OFDM	II-3
2.3 Kekurangan OFDM	II-4
2.4 Sistem modulasi OFDM	II-4
2.5 <i>Quadrature phase shift keying (QPSK)</i>	II-4
2.6 <i>Fast fourier transform (FFT) dan Inverse fast fourier transform (IFFT)</i>	II-5

2.7	<i>Cyclic prefix (CP)</i>	II-6
2.8	Kanal nirkabel.....	II-7
2.9	Kanal AWGN	II-8
2.10	Sistem kanal <i>mobile-to-mobile Rayleigh fading</i>	II-9
2.11	<i>Fast fading</i> dan <i>slow fading</i>	II-10
2.12	<i>Doppler spread</i>	II-11
2.13	Estimasi kanal.....	II-12
2.14	Pengaturan simbol pilot.....	II-12
2.15.1	Pilot tipe blok.....	II-12
2.15.2	Pilot tipe <i>comb</i>	II-13
2.15	Pola pengaturan simbol pilot tipe blok	II-13
2.16.1	<i>Least square (LS)</i>	II-14
2.16.2	<i>Minimum mean square error MMSE</i>).....	II-14
2.16	Pola pengaturan simbol pilot tipe <i>comb</i>	II-14
2.17.1	Interpolasi linier.....	II-15
2.17.2	Interpolasi orde dua	II-15
2.17	<i>Equalizer</i>	II-16
2.18	<i>Mean square error (MSE)</i>	II-17

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Metode penelitian	III-1
3.2	Prosedur penelitian	III-1
3.3	Skenario kerja	III-3
3.4	Parameter simulasi.....	III-5
3.5	Pembangkit bit informasi.....	III-6
3.6	Proses modulasi	III-6
3.7	Proses serial to paralel	III-8
3.8	Proses penyisipan pilot	III-8
3.9	Proses IFFT.....	III-8
3.10	Proses penambahan <i>cyclic prefix (CP)</i>	III-9
3.11	Proses paralel to serial	III-10

3.12	Pemodelan kanal.....	III-10
3.13	Proses pelepasan <i>cyclic prefix</i> (CP).....	III-13
3.14	Proses FFT	III-13
3.15	Estimasi kanal.....	III-14
3.16	Estimasi kanal dengan <i>least square</i> (LS)	III-14
3.17	Estimasi kanal dengan <i>minimum mean square error</i> (MMSE).....	III-14
3.18	Estimasi kanal dengan interpolasi linier	III-14
3.19	Estimasi kanal dengan interpolasi orde dua	III-15
3.20	Perhitungan BER vs E_b/N_0 dengan F_d yang bervariasi	III-15

BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1	Estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok dan <i>comb</i>	IV-1
4.2	Respon impuls kanal terhadap hasil estimasi berdasarkan pilot tipe blok ..	IV-2
4.3	Respon impuls kanal terhadap hasil estimasi berdasarkan pilot tipe <i>comb</i> .	IV-2
4.4	Unjuk kerja estimasi kanal <i>mobile-to-mobile Rayleigh fading</i> berdasarkan pilot tipe blok.....	IV-4
4.5	Unjuk kerja estimasi kanal <i>mobile-to-mobile Rayleigh fading</i> berdasarkan pilot tipe <i>comb</i>	IV-5
4.6	Unjuk kerja estimasi kanal <i>mobile-to-mobile Rayleigh fading</i> untuk pilot tipe blok dan <i>comb</i> berdasarkan BER vs E_b/N_0	IV-5
4.7	Estimasi kanal <i>mobile-to-mobile Rayleigh fading</i> berdasarkan pilot tipe blok dan <i>comb</i> pada BER vs E_b/N_0 dengan variabel a	IV-12
4.8	Analisa hasil simulasi	IV-14

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran.....	V2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi banyak mengalami perkembangan yang sangat pesat terutama pada sistem komunikasi nirkabel. Ini semua disebabkan dengan adanya tuntutan akan pemenuhan kebutuhan komunikasi untuk dapat dilakukan dimana pun dan kapan pun dengan kecepatan bit yang tinggi. Tentunya dengan sistem komunikasi yang handal pada kanal *frequency selective*, sehingga munculnya suatu teknik yang disebut *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM).

OFDM merupakan suatu teknologi *multicarrier* dengan data serial yang berkecepatan tinggi dikonversikan ke dalam data paralel yang berkecepatan lebih rendah. Hal ini dilakukan dengan cara membagi sinyal menjadi *n-subcarrier* yang saling *orthogonal* dan *overlap*. Sistem OFDM sangat sensitif terhadap *carrier frequency offset* yang disebabkan oleh jitter pada gelombang pembawa (*carrier wave*) dan juga terhadap adanya efek *Doppler* yang disebabkan oleh pergerakan baik yang dilakukan oleh transmitter maupun *receiver* (Ilyasa, 2007), Sehingga menyebabkan sinyal yang diterima pada bagian penerima mengalami distorsi, hal ini disebabkan oleh adanya variasi respon kanal, jika sinyal yang diterima ini langsung dideteksi maka akan terjadi kesalahan pendeteksian (Hermanto, 2012). Dengan demikian diperlukan sistem penerima yang mampu untuk melakukan estimasi terhadap perubahan kanal.

Banyak teknik estimasi yang telah dilakukan sebelumnya yaitu penelitian yang berjudul evaluasi kinerja teknik estimasi kanal berdasarkan pola pengaturan simbol pilot pada sistem OFDM, pada penelitian ini membahas tentang kinerja estimasi kanal berdasarkan pola pengaturan simbol pilot pada sistem OFDM. Namun, pada penelitian ini hanya membandingkan kinerja teknik estimasi pada kanal *rayleigh* dan *additive white gaussian noise* (AWGN) dengan menerapkan modulasi BPSK, QPSK dan 16 QAM. (Hermanto, 2012).

Pada paper yang berjudul *A Study of Channel Estimation in OFDM Systems*, Coleri menggunakan metode estimasi berbasis pilot tipe blok dan *comb*. Estimasi kanal berbasis pilot tipe blok dikembangkan berdasarkan asumsi kanal *slow fading*. Estimasi kanal

didasarkan pada *least square* (LS) dan *minimum means square error* (MMSE). Sedangkan estimasi kanal berbasis pilot tipe *comb* digunakan untuk perubahan kanal terhadap satu blok OFDM atau lebih. Estimasi ini terdiri dari algoritma yang mengestimasi berdasarkan pada frekuensi pilot untuk interpolasi kanal. Coleri membandingkan kedua metode tersebut dengan menerapkan modulasi 16 QAM, QPSK dan DQPSK sebagai skema modulasi. Namun, pada penelitian ini coleri hanya menerapkan model kanal *rayleigh fading* dan *Auto-regresif* (Coleri, 2002).

Berdasarkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hermanto dan Coleri, penulis tertarik untuk menerapkan metode estimasi berdasarkan pilot tipe blok dan tipe *comb* pada model kanal yang berbeda, yaitu model kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading*. Kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* adalah dimana semua entitas baik pengirim dan penerima saling bergerak sehingga mengakibatkan frekuensi *doppler* terjadi pada pengirim dan penerima. Pergerakan *user* dapat menyebabkan efek *Doppler* semakin besar. Dalam penelitian ini kanal akan diestimasi dengan *Least Square* (LS) dan *Minimum Mean Square Error* (MMSE) untuk pilot tipe blok sedangkan interpolasi linear dan interpolasi orde dua untuk pilot tipe *comb*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan pada penelitian ini, yaitu Bagaimana menerapkan estimasi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* berdasarkan susunan pilot tipe blok dan tipe *comb* dan menganalisa hasil kinerja dari kedua teknik estimasi tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan teknik estimasi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* berdasarkan susunan pilot tipe blok dan tipe *comb* pada sistem OFDM dan menganalisanya.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari pembahasan yang terlalu luas pada penelitian ini, maka penulis perlu membuat batasan cakupan masalah yang akan dibahas. Hal ini dibuat agar isi dan pembahasan dari penelitian ini menjadi lebih terarah dan mencapai hasil yang diharapkan.

Adapun batasan masalah pada penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kanal yang digunakan yaitu kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* dan dipengaruhi oleh *additive white gaussian noise* (AWGN)
2. Kinerja estimasi berdasarkan *Mean square error* (MSE)
3. Estimasi untuk pilot tipe blok berdasarkan *Least Square* (LS) dan *Minimum Mean Square Error* (MMSE)
4. Estimasi untuk pilot *comb* berdasarkan interpolasi liner dan interpolasi orde dua.
5. Menggunakan modulasi QPSK

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat ilmiah

Manfaat ilmiah dalam penelitian ini dapat dilihat dari sisi keilmuan tentang estimasi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* berdasarkan susunan pilot pada sistem OFDM dan dapat digunakan sebagai referensi guna penelitian selanjutnya.

1.5.2 Manfaat terapan

Dengan adanya estimasi kanal ini diharapkan pada sistem komunikasi *wireless* pada saat pengirim (Tx) mengirim data sehingga penerima (Rx) dapat mengetahui respon impuls atau karakteristik dari kanal, khususnya pada kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading*.

1.6 Metode penelitian

Adapun metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi *literatur* ini merupakan langkah awal dalam penelitian. Yaitu dengan mengumpulkan data-data baik berupa buku referensi yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Adapun referensi-referensi tersebut berupa jurnal, paper, buku dan referensi lainnya seperti *browsing* diinternet.

2. Pemodelan sistem

Melakukan pemodelan sesuai dengan perancangan yang mengacu pada judul penelitian yang akan dibuat.

3. Identifikasi *software* dan simulasi

Melakukan pemilihan *software* yang akan digunakan dalam simulasi pada penelitian ini dan mensimulasikan pemodelan sistem tersebut.

4. Analisa hasil simulasi

Melakukan analisa-analisa sesuai hasil simulasi yang telah dilakukan.

5. Penulisan laporan

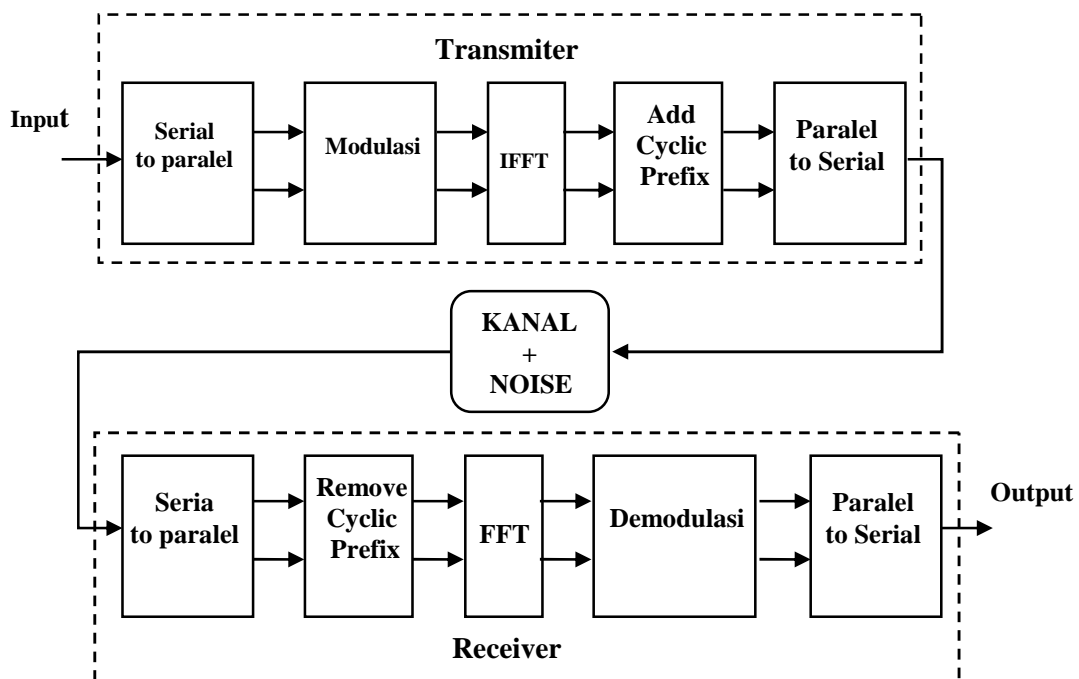
Tahap akhir pada metode penelitian ini yaitu melakukan penulisan laporan sesuai hasil dan analisa beserta kesimpulan yang di peroleh.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah teknik transmisi *multicarrier* yang membagi suatu aliran data-data serial dengan kecepatan tinggi menjadi beberapa *subcarrier* paralel yang saling *orthogonal* dengan kecepatan yang relatif rendah. Dengan sifat *orthogonal* ini maka antara *subcarrier* dapat dibuat dengan saling *overlap* tanpa menimbulkan efek-efek *Intercarrier Interference* (ICI) (Hermanto, 2012).



Gambar 2.1 Blok diagram sederhana sistem OFDM (Abdillah, 2010)

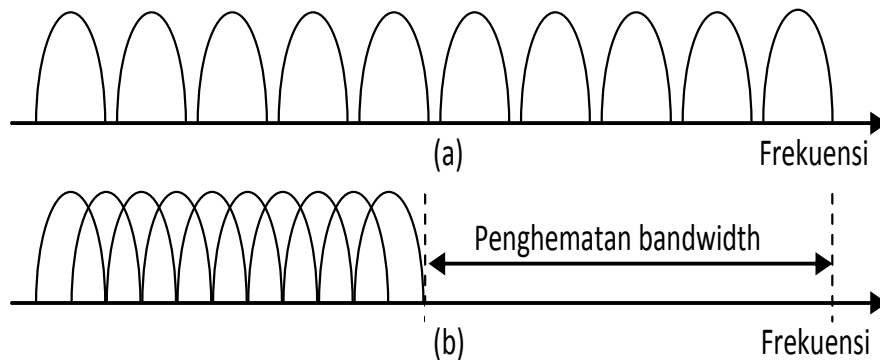
Prinsip kerja sistem OFDM adalah deretan data informasi yang dikirim terlebih dahulu akan dikonversikan kedalam bentuk paralel, jika bit rate semula adalah R , maka bit rate pada jalur paralel adalah R/N dimana N merupakan jumlah jalur paralel (sama dengan jumlah *subcarrier*). Proses selanjutnya adalah proses modulasi yang dilakukan pada tiap-tiap *subcarrier*. Sinyal yang telah termodulasi tersebut akan dikirimkan ke dalam blok IFFT untuk pembuatan simbol OFDM yang saling *orthogonal* dan kemudian simbol OFDM ditambahkan *cyclic prefix* (CP). Kemudian simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial dan kemudian sinyal tersebut dikirim melalui media kanal. Sistem OFDM pada saat mengirimkan sinyal dapat menghemat *bandwidth* kanal sampai

50% karena sinyal saling *overlapping*. Kondisi *overlapping* ini tidak akan menimbulkan interferensi di karenakan telah memenuhi kondisi *orthogonal*. Pada bagian penerima (*receiver*) sinyal terima akan dikonversi dari serial ke paralel, pelepasan *cyclic prefix*(CP), kemudian konversi sinyal paralel dengan FFT setelah itu akan demodulasi dan terakhir konversi paralel ke serial, kemudian data terima akan kembali menjadi bentuk data informasi (Abdillah, 2010).

Teknik OFDM pertama kali diperkenalkan para peneliti dipertengahan tahun empat puluhan, kemudian pada tahun lima puluhan sistem OFDM dikembangkan dalam arti transmisi paralel yang pertama dan pada tahun 1970 OFDM telah diterbitkan oleh US. Tujuan utama dikembangkan sistem OFDM adalah untuk mengefesienkan *bandwidth* dengan meletakkan setiap *carrier* sedekat mungkin. pada tahun 1990 sistem OFDM dieksploitasi untuk sistem komunikasi data-data pita lebar melalui kanal radio bergerak FM, hal ini karena sistem OFDM tahan terhadap propagasi jalur jamak, dengan demikian sistem OFDM sangat memungkinkan untuk diterapkan pada komunikasi bergerak. Selama tahun 1990-an para ilmuwan atau peneliti mengusulkan sistem OFDM sebagai teknik transmisi komunikasi bergerak berbasis *multicarrier* FDMA, dimana masing-masing *user* memiliki sekelompok *sub-channel random* (Indris, 2009).

Sistem OFDM merupakan perkembangan dari *Frequency Devision Multiplexing* (FDM). Kedua sistem ini merupakan teknik transmisi dengan banyak pembawa (*multicarrier*). Pada sistem FDM dimana menggunakan subpembawa yang tidak saling *orthogonal* sehingga tidak dibolehkan spektrum subpembawa saling tumpang agar tidak terjadi *Intercarrier Interference* (ICI). Sedangkan pada sistem OFDM merupakan teknik yang menggunakan subpembawa saling *overlap* antara *subcarrier* yang satu dengan yang lainnya tanpa interferensi *carrier* karena *subcarrier* satu dengan yang lainnya saling *orthogonal* sehingga mengakibatkan peningkatan efesiensi pemakaian lebar pita frekuensi pada OFDM.

Berikut ini merupakan perbandingan FDM dan OFDM.



Gambar 2.2 Perbandingan FDM dan OFDM (Juliandy, 2009)

Untuk memperjelas antara FDM dan OFDM dari segi operasi dasarnya maupun dilihat dari segi efisiensi spektrumnya, dari sistem *single carrier*, dan juga dilihat dari sistem *multicarrier* konvensional maka terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan.

2.2 Kelebihan OFDM

OFDM merupakan jenis dari *multicarrier* (FDM), akan tetapi OFDM memiliki efisiensi dari pemakaian frekuensi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan FDM. Pada sistem OFDM saling *overlap* antar frekuensi yang bersebelahan karena masing-masing sudah saling *orthogonal*. Namun pada FDM sistem *multicarrier* konvensional berguna untuk mencegah interferensi antara frekuensi yang bersebelahan tersebut. Dengan demikian perlu diselipkan frekuensi penghalang (*guard band*). Hal ini dilakukan untuk menurunkan kecepatan transmisi, bila dibandingkan dengan sistem *single carrier* dengan lebar spektrum yang sama sehingga menjadikan karakteristik dari OFDM yaitu dengan tingginya tingkat efisiensi dalam pemakaian frekuensi. Selain itu pada *multicarrier* konvensional juga diperlukan *band pass filter* sebanyak frekuensi yang digunakan, namun pada OFDM cukup menggunakan FFT. kelebihan lain dari OFDM adalah handal dalam menghadapi *frequency selective fading*. Dengan menerapkan teknologi OFDM meskipun dalam jalur komunikasi yang digunakan memiliki karakteristik *frequency selective fading*. Namun pada teknologi OFDM mampu mengubah *frequency selective fading* menjadi *flat fading*. Meskipun secara keseluruhan memiliki kecepatan data transmisi tinggi sehingga mengakibatkan pemakaian *bandwidth* yang lebar, akan tetapi OFDM mentransmisikan data menggunakan *subcarrier* (frekuensi pembawa) dengan jumlah yang sangat banyak

sehingga memungkinkan kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* sangat rendah dan *bandwidth* dari tiap *subcarrier* sangat sempit (Ilyasa, 2007).

2.3 Kekurangan OFDM

Dalam sebuah sistem dan merupakan buatan manusia tentunya terdapat kelemahan dan kekurangan, begitu juga dengan sistem OFDM juga terdapat beberapa kelemahan diantaranya yaitu *frequency offset*, *nonlinear distortion*, dan Sinkronisasi sinyal. *frequency offset* disebabkan oleh jitter pada gelombang pembawa (*carrier wave*) dan juga terhadap efek *doppler* yang disebabkan oleh pergerakan baik oleh pengirim maupun penerima. OFDM merupakan sistem modulasi yang menggunakan multi-frekuensi dan multi-amplitudo, dengan demikian sistem ini mudah terkontaminasi oleh adanya *nonlinear distortion* yang terjadi pada *amplifier* dari daya transmisi. Pada bagian penerima, untuk menentukan *start point* guna memulai operasi *Fast Fourier Transform* (FFT) saat sinyal OFDM tiba di penerima adalah hal yang relatif sulit untuk mengsinkronisasi dari sinyal OFDM.

2.4 Sistem modulasi OFDM

Prinsip utama OFDM adalah membagi kecepatan tinggi aliran data ke dalam sejumlah aliran data berkecepatan rendah kemudian dikirim dengan cara simultan melalui suatu *subcarrier*. OFDM merupakan teknik yang telah diterapkan kepada sinyal yang telah termodulasikan yaitu dengan cara membagi data secara paralel pada jumlah subkanal pita sempit. Kemudian masing-masing data pada subkanal tersebut dimodulasikan dengan subpembawa yang saling *orthogonal* dan selanjutnya akan ditransmisikan secara simultan (Fadhila, 2008).

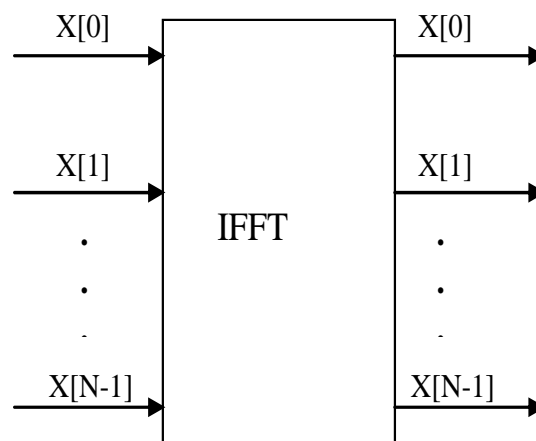
2.5 Quadrature phase shift keying (QPSK)

QPSK merupakan teknik pengkodean M-ary dimana $M = 4$, karena ini merupakan quaternary yang berarti 4 dan merupakan suatu turunan dari kata binary. M merupakan digit yang mewakili banyaknya kondisi yang mungkin $-1 -i$, $-1 i$, $1 -i$ dan $1 i$ atau QPSK memiliki empat kondisi fasa keluaran yang berbeda-beda dan harus ada empat kondisi masukan yang berbeda pula karena masukan yang masuk ke modulator merupakan masukan digital adalah sinyal biner (dasar 2). Untuk menghasilkan empat kondisi masukan yang berbeda maka dipakai bit masukan lebih dari satu bit tunggal. Empat kondisi yang

memungkinkan 00 01 10 11. Atau dengan kata lain QPSK dapat mendekode 2 bit/symbol sehingga terdapat 4 fasa keluaran yang berbeda pada perbedaan fasa sebesar 90° . Jenis modulasi ini lebih sering digunakan pada media transmisi digital dibandingkan dengan modulasi lainnya karena modulasi ini memiliki kelebihan-kelebihan seperti jumlah level yang dikodekan lebih banyak, *bandwidth* lebih kecil dan performansi interferensinya lebih baik.

2.6 Fast Fourier Transform (FFT) Dan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)

Fast Fourier Transform adalah merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk mempresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. IFFT merupakan singkatan dari *Inverse Fast Fourier Transform*. Dalam sistem IFFT tidak bisa lepas dengan adanya DFT, pada proses IFFT ini sinyal akan dirubah dari domain frekuensi menjadi domain waktu. Pada DFT sinyal dirubah dari domain waktu menjadi domain frekuensi (Kadaryanto, 2012).



Gambar 2.3 Proses IFFT (Kadaryanto, 2012).

FFT dan IFFT merupakan komponen utama dalam sistem OFDM. Fungsi dari FFT adalah sebagai pengurai dari simbol OFDM (demodulator) sedangkan IFFT berfungsi sebagai pembuatan simbol (modulator) pada teknik OFDM. Namun dalam teknik OFDM sinyal inputan dari IFFT merupakan sebuah domain waktu. Hal ini sebenarnya tidak masalah karena IFFT merupakan sebuah konsep matematis yang tidak memperhatikan atau memperdulikan apa yang dihasilkannya dan apa inputnya. Asalkan dalam hal yang

menjadi inputannya masih berupa amplitudo-amplitudo dari beberapa sinusoida. IFFT ini akan menghasilkan suatu nilai dalam bentuk domain waktu (Abdillah, 2010).

Berikut ini merupakan persamaan IFFT:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k W_N^{kn}$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} [X_k + X_{\frac{N}{2}+k}^*] W_N^{kn} \quad (2.1)$$

FFT ini merupakan komponen yang terpenting dalam bagian demodulasi. Jika lebih dari satu pembawa dimasukkan maka FFT merupakan suatu metode praktis guna memperbaiki data dari pembawa (*carrier*). FFT ini digunakan untuk merubah kembali ke ranah frekuensi.

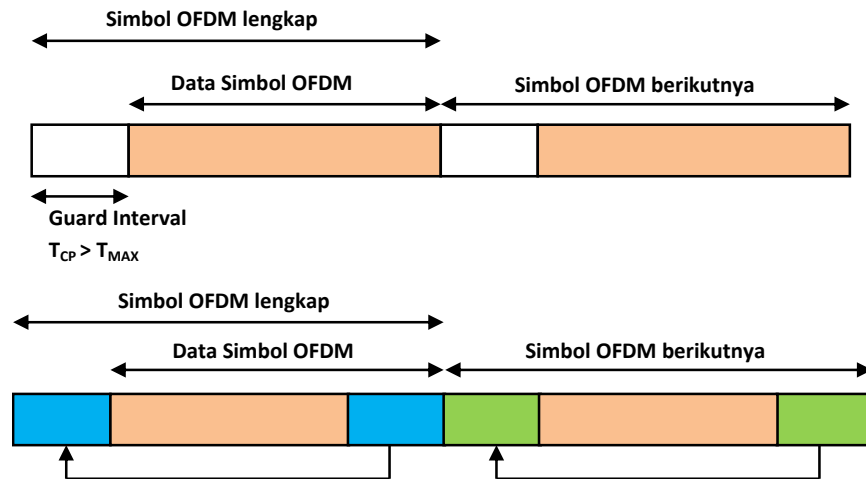
Berikut ini merupakan persamaan FFT:

$$X_k = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(n + \frac{N}{2}) W_N^{-kn} \quad (2.2)$$

2.7 Cyclic Prefix (CP)

Pada saat orthogonalitas dari OFDM berubah. *Cyclic prefix* (CP) dapat membantu menjaga keorthogonalitasan dari sinyal OFDM tersebut. Pada mulanya sebelum ada *cyclic prefix* (CP) jarak antara *subcarrier* diisi dengan *guard interval*. Dalam prakteknya ternyata antara *subcarrier* tersebut yang berisikan *guard interval* menimbulkan *Intersymbol Interference* (ISI) karena adanya *crosstalk* antara *subcarrier* yang berbeda sehingga hal tersebut akan menimbulkan hilangnya orthogonalitas dari sinyal OFDM. *Cyclic prefix* merupakan salinan dari bagian akhir simbol OFDM yang ditempatkan didepan pada saat pengiriman sinyal OFDM. Ketika sampai dipenerima maka *cyclic* tersebut akan dibuang. Gambar 2.4 memperlihatkan definisi *cyclic prefix* yang digunakan sebagai *guard interval* pada sistem OFDM (Astuti, 2012)

Cyclic prefix atau yang sering disebut CP berfungsi sebagai *guard interval* yang memastikan semua simbol OFDM terkirim secara lengkap pada FFT dengan waktu tunda yang sama. Pada modulasi OFDM, IFFT diambil sebagai perioda simbol sehingga secara teknisnya akan dihasilkan waktu yang sama. Pada bagian penerima *cyclic prefix* tersebut dibuang sebelum proses demodulasi dengan FFT.



Gambar 2.4 *Cyclic prefix* sebagai *guard interval* pada OFDM (Astuti, 2012)

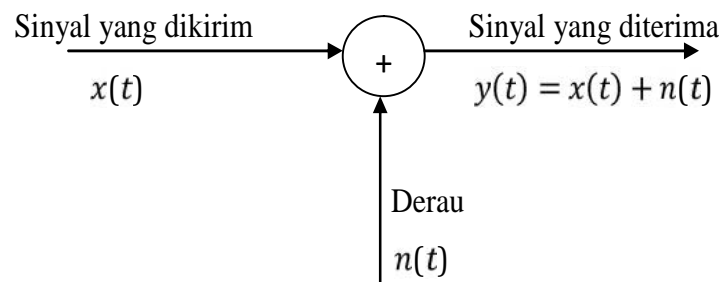
2.8 Kanal Nirkabel

Karakteristik kanal sangat perlu diketahui, dengan demikian dapat memudahkan proses desain sinyal yang cocok untuk model kanal tersebut. Pada suatu kanal ideal, sinyal yang diterima oleh stasiun penerima adalah sinyal yang terdiri dari satu lintasan sinyal langsung yang merupakan suatu rekonstruksi sempurna dari sinyal yang dikirimkan. Akan tetapi pada kenyataannya sinyal yang diterima oleh penerima merupakan penjumlahan dari beberapa versi sinyal yang dikirim dengan redaman dan waktu tunda (*delay*) yang bervariasi sehingga sinyal yang dikirim mengalami perubahan pada saat sampai dipenerima. Redaman atau atenuasi adalah penurunan daya sinyal ketika transmisi dari satu titik ke titik lain. Redaman dapat disebabkan oleh panjang lintasan transmisi, penghalang-penghalang saat transmisi seperti refleksi, difraksi dan hamburan serta pengaruh *multipath* (Faisal, 2009).

2.9 Kanal AWGN

Kanal AWGN merupakan kanal yang sering digunakan dalam sistem komunikasi. Suatu kanal dimana informasi diberi gangguan berupa penambahan linear dari *white noise* dengan kerapatan spektrum yang konstan dan distribusi *gaussian* dari *sample noise*. Selain itu juga AWGN dapat disebabkan oleh faktor lain seperti suhu antenna dan *multipath fading*.

Multipath fading biasa terjadi pada komunikasi *wireless*, terutama sering terjadi didaerah perkotaan. Sinyal yang dikirim pada saat ditransmisikan melalui kanal radio, maka sinyal tersebut akan dipantulkan dan dihamburkan oleh adanya gedung, pohon atau benda lainnya sehingga sinyal berubah pada saat diterima oleh penerima. Setiap lintasan memberikan fasa, redaman amplitudo, delay, dan *Doppler shift* yang berbeda terhadap sinyal. Untuk komunikasi nirkabel yang sederhana, *multipath fading* menjadi faktor yang paling penting yang harus dipertimbangkan ketika menggambarkan sebuah kanal dan memprediksi untuk unjuk kerja dari sebuah sistem tersebut (Khaerul, 2011)



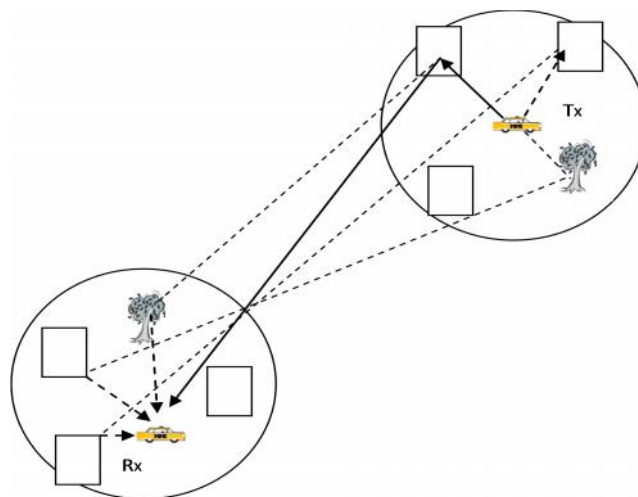
Gambar 2.5 Kanal AWGN (Juliandy, 2009)

Gambar 2.5 menjelaskan sebuah sinyal yang dilewatkan melalui sebuah kanal. Pada model ini, sebuah sinyal yang ditransmisikan $x(t)$ terkena sebuah noise acak yaitu $n(t)$. Ketika sinyal mendapat redaman selama proses pentransmisian melalui sebuah kanal, maka sinyal yang diterima pada interval $0 \leq t \leq T$, maka dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$y(t) = x(t) + n(t) \quad (2.3)$$

2.10 Sistem Komunikasi *Mobile-to-mobile Rayleigh fading*

Dalam sistem komunikasi *wireless* kanal *mobile-to-mobile* merupakan peranan penting terutama dalam komunikasi seluler. Selama dua dekade terakhir, tren pada teknologi komunikasi nirkabel telah bergeser dari komunikasi *mobile voice-centric man-to-man* tradisional untuk komunikasi (2G, GSM) menjadi komunikasi *data-centric man-to-machine* untuk komunikasi (3G, UMTS). Pada masa yang akan datang pergeseran lebih lanjut terus dilakukan kearah yang lebih baik yaitu komunikasi *wireless machine-to-machine* yaitu merupakan generasi keempat (4G, IMT-Advanced). Sebuah contoh dari komunikasi *mobile machine-to-machine* ini adalah seperti *car-to-car* (C2C) atau ekuivalen dari kendaraan-to-kendaraan atau yang sering disebut *vehicle-to-vehicle* (V2V). akan tetapi, sistem komunikasi C2C atau V2V berada di bawah komunikasi yang lebih luas yang disebut *mobile-to-mobile* (M2M). *mobile-to-mobile* adalah jika semua entitas dalam jaringan tersebut bergerak baik itu pada *mobile user* ataupun *vehicle*. Sistem C2C,V2V dan M2M telah mendapat perhatian khusus dari para peneliti, badan standarisasi dan perusahaan industri, karena menawarkan banyak aplikasi-aplikasi. Bebearapa aplikasi yang ditargetkan diantaranya ialah untuk mengurangi kecelakaan lalu lintas dan untuk memfasilitasi arus lalu lintas. Beberapa negara telah menerapkan sistem komunikasi ini diantaranya negara AS, dengan 75 MHz band di kisaran 5,9 GHz telah dialokasikan untuk jarak pendek komunikasi oleh *Federal Communications Commission* (FCC) (Talha, 2010).



Gambar 2.6 *Scatter* pada kanal *mobile* (Patel, 2006)

Gambar 2.6 menjelaskan jalur propagasi antara Tx dan Rx terhalang oleh bangunan, dedaunan dan mengakibatkan kondisi propagasi NLOS. Sinyal ditransmisikan mengalami refleksi, hamburan diffuse, dan difraksi saat berhadapan dengan hambatan. Akibatnya, sinyal yang diterima adalah jumlah dari beberapa jalur tersebar atau dipantulkan berbeda. Jalan masing-masing memiliki amplitudo sendiri, fase acak, dan pergeseran *doppler* yang disebabkan oleh gerakan Tx dan Rx.

Model matematika untuk menggambarkan sistem *mobile-to-mobile Rayleigh fading* adalah sebagai berikut (Mulyono, 2012).

$$g(t) = \frac{2}{NM} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \exp[j 2\pi f_1 \cos(\alpha_n)t + 2\pi f_2 \cos(\beta_m)t + \phi_{nm}] \quad (2.4)$$

Dimana $f_1 = |v_1| / \lambda$ dan $f_2 = |v_2| / \lambda$ adalah *Doppler* maksimum frekuensi yang dihasilkan dari gerakan transmisi (TX) dan penerimaan (RX) masing masing. $|v|$ menunjukkan panjang dari vektor v , sedangkan λ adalah panjang gelombang pembawa (Wang, 2009).

$$\alpha_n = \frac{2n\pi - \pi + \theta_n}{4N} \quad (2.5)$$

$$\beta_m = 2 \frac{2m\pi - \pi + \psi_m}{4M} \quad (2.6)$$

α_n dan β_m adalah sudut keberangkatan dan sudut kedatangan di setiap jalur θ_n, ψ_m dan ϕ_{nm} di $g(t)$ semua independen variabel acak seragam atas $[-\pi, \pi]$.

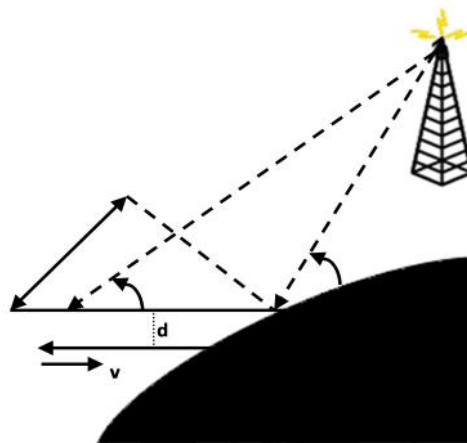
2.11 Fast Fading dan Slow fading

Dalam model *fast fading*, laju perubahan kanal lebih tinggi dari periode simbol sinyal dan karenanya perubahan kanal lebih dari satu periode. Dengan kata lain, waktu koherensi *channel* T_c lebih kecil dari periode simbol. T_c berkaitan dengan penyebaran *doppler*. Sedangkan pada *slow fading*, waktu koherensi *channel* atau kanal lebih besar dari periode simbol dan karenanya kanal tetap statis sekitar simbol atau beberapa simbol. Dari persamaan di atas jelas bahwa *slow fading* biasanya diharapkan diterapkan dengan nilai *doppler speed* yang rendah, yaitu dengan rintangan bergerak lebih lambat pada penerima atau pemancar (Miah, 2011).

2.12 Doppler Spread

Sebuah fitur penting dari saluran nirkabel adalah waktu yang bervariasi, hal ini merupakan fungsi transfer dari perubahan saluran dalam waktu. Jadi, pengirim mengirimkan sinyal yang sama pada waktu yang berbeda, akan tetapi sinyal yang diterima oleh penerima tidak sama. Pada saat *mobile station* melakukan sistem komunikasi bergerak, tentunya frekuensi sinyal yang akan diterima akan mengalami perubahan. saat kondisi *multipath*, setiap gelombang *multipath* memiliki pergeseran frekuensi, pergeseran frekuensi ini disebut *doppler spread*. Pergeseran dari frekuensi sinyal selular yang diterima akibat gerakan disebut pergeseran frekuensi *doppler*, hal ini sebanding dengan kecepatan *user* (Wang, 2011).

Pergeseran *Doppler* adalah merupakan dari pergerakan relatif antara pengirim dan penerima yang akan menimbulkan pelebaran spektrum yang disebabkan oleh adanya dari laju perubahan waktu kanal. gambar 2.7 merupakan ilustrasi dari efek *doppler*. Apabila suatu sinyal sinusoidal murni yang dipancarkan f_c dikirimkan, maka spektrum sinyal yang diterima dinamakan spektrum *doppler* yang akan memiliki range frekuensi $f_c - f_d$ sampai $f_c + f_d$ dengan f_d adalah pergeseran *doppler*. Pelebaran spektral tersebut adalah fungsi yang berhubungan dengan kecepatan pergerakan relatif antara pengirim dan penerima, dan sudut antara arah propagasi gelombang sinyal datang terhadap pergerakan antenna (Kadaryanto, 2012).



Gambar 2.7 Ilustrasi dari Efek *Doppler* (Juliandy, 2009)

2.13 Estimasi Kanal

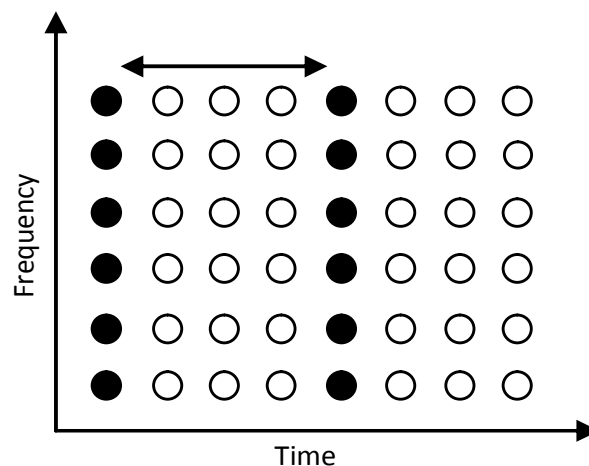
Pada umumnya sinyal yang diterima oleh penerima sudah mengalami distorsi, ini disebabkan adanya variasi respon kanal. Seandainya sinyal yang diterima langsung terdeteksi maka akan terjadi kesalahan pada pendeteksiannya. Dengan demikian dibutuhkan estimasi kanal untuk mengetahui respon kanal.

2.14 Pengaturan Simbol Pilot

Pola pengaturan simbol pilot merupakan salah satu teknik estimasi kanal dengan cara menyisipkan simbol pilot pada data yang akan dikirimkan ke bagian pemancar. Pilot ini digunakan untuk menghitung respon pada kanal yang menyebabkan adanya interferensi. Ada dua pola pengaturan simbol pilot yaitu dengan penyisipan pilot tipe blok dan pilot tipe *comb*.

2.15.1 Pilot tipe Blok

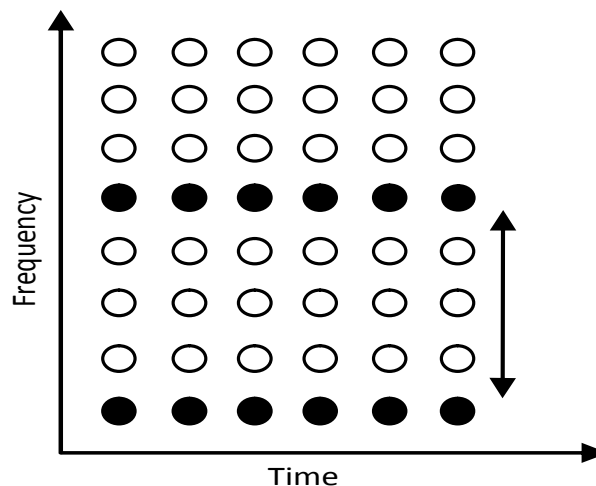
Sistem estimasi kanal dengan menyisipkan simbol pilot tipe blok ini dilakukan dengan cara menyisipkan pilot kedalam semua *subcarrier* pada OFDM terhadap periode waktu tertentu. Simbol pilot tersebut mencakup semua frekuensi sehingga membuat menjadi tahan terhadap *frequency selective fading*. Akan tetapi menjadikan lebih sensitif terhadap kanal *fast fading*.



Gambar 2.8 Pilot tipe blok (Astuti, 2012)

2.15.2 Pilot tipe *Comb*

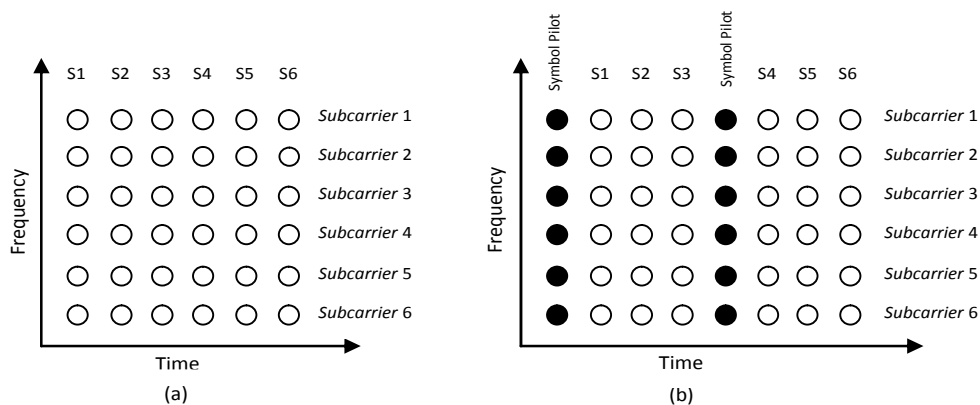
Estimasi kanal menggunakan pilot tipe *comb* yaitu menyisipkan pilot ke *subcarrier* pada OFDM, akan tetapi diperlukan interpolasi guna memperkirakan karakteristik dari model kanal. Berbeda dengan tipe blok yaitu dengan cara menyisipkan simbol pilot kedalam *subcarrier* dalam interval yang sama sedangkan pada tipe *comb* diprioritaskan akan kebutuhan untuk menyesuaikan oleh adanya perubahan pada kanal ataupun perubahan satu blok OFDM dengan blok berikutnya.



Gambar 2.9 Pilot tipe *Comb* (Astuti, 2012)

2.15 Pola Pengaturan Simbol Pilot Tipe Blok

Estimasi kanal yang didasarkan pada pola pengaturan simbol tipe blok yaitu dengan cara menyisipkan simbol pilot pada semua *subcarrier* dengan rentang waktu tertentu. Untuk mendapatkan nilai estimasi kanal pada pola pengaturan simbol tipe blok ini dapat dilakukan dengan *Least Square* (LS) dan dengan *Minimum Mean Square Error* (MMSE).



Gambar 2.10 Pola pengaturan simbol tipe blok (Hermanto, 2012)

Gambar 2.10 menjelaskan bahwa pada (a) susunan pilot tipe blok yang belum dilakukan penyisipan simbol pilot. Sedangkan pada (b) susunan pilot tipe blok yang sudah dilakukan penyisipan pilot tipe blok.

2.16.1 *Least Square (LS)*

Untuk mendapatkan nilai estimasi kanal dengan estimasi *least square* (LS) yaitu dengan cara memperkecil jumlah kuadrat selisih dari nilai sesungguhnya dan nilai yang diprediksi yaitu dengan membagi data yang dikirim dengan data yang diterima. Persamaan dibawah ini adalah untuk mendapatkan nilai estimasi kanal dengan *least square* (LS).

$$\hat{H}_{LS}(k) = \frac{Y(k)}{X(k)} \quad (2.7)$$

$\hat{H}_{LS}(k)$ = Nilai estimasi kanal, $Y(k)$ adalah nilai sinyal data yang diterima dan $X(k)$ adalah nilai sinyal data yang dipancarkan.

2.16.2 *Minimum Mean Square Error (MMSE)*

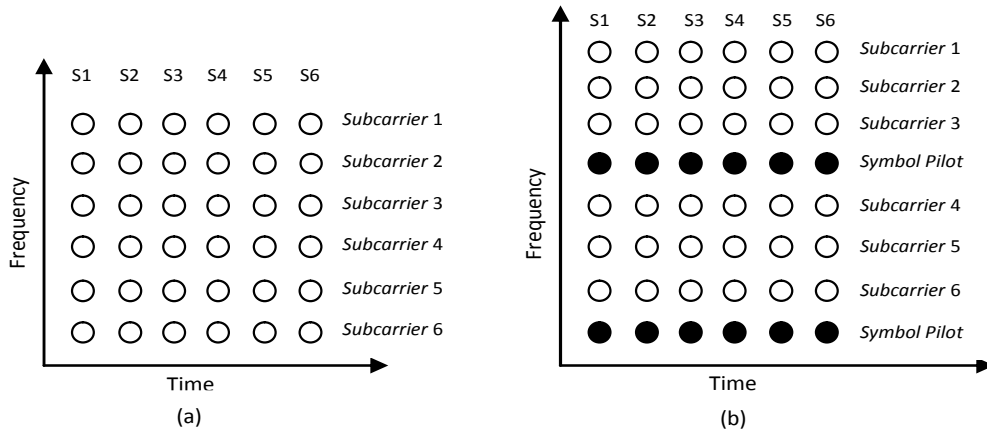
MMSE bekerja dengan cara meminimalkan kuadrat galat terkecil (*Mean Square Error*) antara kanal sebenarnya dan kanal hasil estimasi dengan menggunakan korelasi saluran frekuensi. Persamaan dibawah ini merupakan persamaan estimasi MMSE.

$$\hat{H}_{MMSE} = R_{HH} \left(R_{HH} + \frac{\beta}{SNR} I \right)^{-1} \tilde{H}_{LS} \quad (2.8)$$

R_{HH} adalah korelasi silang antara respon impuls kanal h , \tilde{H}_{LS} nilai estimasi dari *least square*, di mana SNR adalah signal-to-noise rasio sedangkan I merupakan matrik identitas dan β merupakan faktor konstelasi QPSK = 1.

2.16 Pola Pengaturan Simbol Pilot Tipe *Comb*

Estimasi kanal dengan pengaturan simbol pilot tipe *comb* yaitu simbol pilot yang digunakan sebagai referensi untuk estimasi kanal dikirimkan secara periodik pada frekuensi *subcarrier* tertentu dengan rentang frekuensi tertentu. Untuk mendapatkan nilai estimasi kanal dengan simbol pilot tipe *comb* ini dapat dilakukan dengan LS kemudian dilanjutkan dengan interpolasi.



Gambar 2.11 Pengaturan simbol pilot tipe *comb* (Hermanto, 2012)

Gambar 2.11 menjelaskan bahwa (a) simbol pilot tipe *comb* belum dilakukan penyisipan simbol dan (b) merupakan simbol pilot tipe *comb* yang telah dilakukan penyisipan simbol pilot berdasarkan rentang frekuensi tertentu.

2.17.1 Interpolasi Linier

Untuk mendapatkan estimasi kanal pada *subcarrier* dengan interpolasi linier maka menggunakan dua estimasi simbol pilot yang berdekatan. Berikut ini merupakan persamaan interpolasi linier.

$$e(k) = e(mL +) \quad 0 < L \quad (2.9)$$

$$= (p(m+1) - p(m) \cdot (/L)) + p(m)$$

Dimana $p(m)$ merupakan estimasi simbol pilot ke- m , L merupakan jarak antara simbol pilot.

2.17.2 Interpolasi Orde Dua

Teknik estimasi interpolasi orde dua yaitu dengan menggunakan tiga estimasi kanal simbol pilot yang berdekatan. Sebenarnya teknik ini hampir sama dengan teknik estimasi menggunakan interpolasi linier hanya saja interpolasi orde dua menggunakan tiga estimasi. Dibawah ini merupakan persamaan interpolasi orde dua.

$$e(k) = e(mL + k) \\ = c_{-1} p(m-1) + c_0 p(m) + c_1 p(m+1) \quad (2.10)$$

dengan

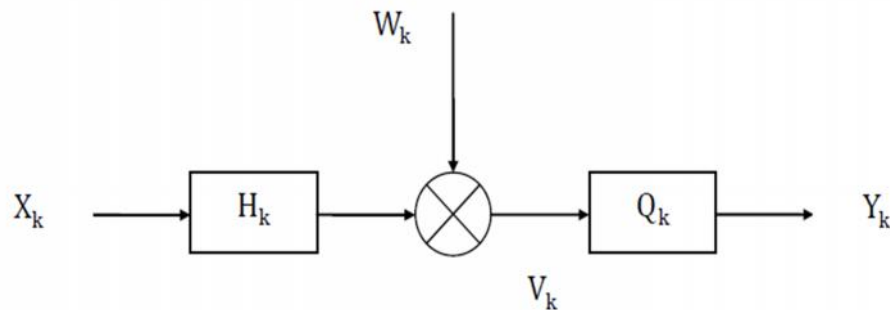
$$c_1 = \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}, c_0 = -(\alpha-1)(\alpha+1), c_{-1} = \frac{\alpha(\alpha+1)}{2}, \alpha = L/N$$

Dimana $p(m)$ adalah merupakan estimasi simbol pilot ke- m dan L adalah jarak antara simbol pilot.

2.17 Equalizer

Equalizer sering digunakan dalam domain waktu maupun domain frekuensi dalam sistem komunikasi tradisional. *Equalizer* pada domain waktu, yaitu dalam sistem FDM tradisional pemerataan atau ekualisasi tentunya sangat diperlukan. Karena *equalizer* ini digunakan sebagai penyeimbang dari karakteristik kanal. Pada bagian penerima, *equalizer* menghasilkan karakteristik yang berlawanan dari kanal untuk mengimbangi ISI akibat waktu yang bervariasi dari kanal *multi-path*.

Namun *equalizer* dalam domain frekuensi merupakan suatu teknik penting yang digunakan untuk mengurangi ICI pada estimasi kanal. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari sisa frekuensi *offset* dan efek pergeseran dari *doppler*. Terutama pada saluran yang berubah cepat, Dalam penelitian ini, *equalizer* digunakan dalam estimasi kanal. *zero forcing equalizer* adalah *equalizer* sangat sederhana sebagai kriteria untuk meminimalkan *peak distortion*. Gambar 2.12 menunjukkan diagram *equalizer* (Wang, 2011).



Gambar 2.12 Diagram ZF *equalizer* (Wang, 2011)

Berdasarkan gambar 2.12 maka didapat persamaan sebagai berikut:

$$V_k = X_k H_k + W_k \quad (2.11)$$

$$Y_k = V_k Q_k \quad (2.12)$$

Dimana X_k adalah sinyal input, H_k adalah respon impuls kanal, W_k merupakan kanal AWGN dan Q_k adalah *equalizer*. Dalam bagian dari estimasi kanal, *zero forcing equalizer* dicapai dengan sinyal yang diterima dibagi dengan respons impuls kanal. Berikut ini persamaan dari *equalizer* ZF (Wang, 2011):

$$Q_k = \frac{1}{H_k} \quad (2.13)$$

2.18 Mean Square Error (MSE)

Mean square error adalah metode untuk melihat besarnya *error* dalam suatu sistem. MSE pada penelitian ini digunakan untuk melihat selisih atau *error* yang terjadi antara hasil estimasi kanal dengan LS, MMSE, interpolasi linier dan interpolasi orde dua dengan respon impuls kanal. Adapun persamaan MSE yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$MSE = \frac{\sum_{n=1}^N \hat{h}_{ep}(n) - h(n)^2}{N} \quad (2.14)$$

Dimana \hat{h}_{ep} adalah hasil dari estimasi kanal, sedangkan h merupakan data yang dikirim. N merupakan titik data.

BAB III

METODE PENELITIAN

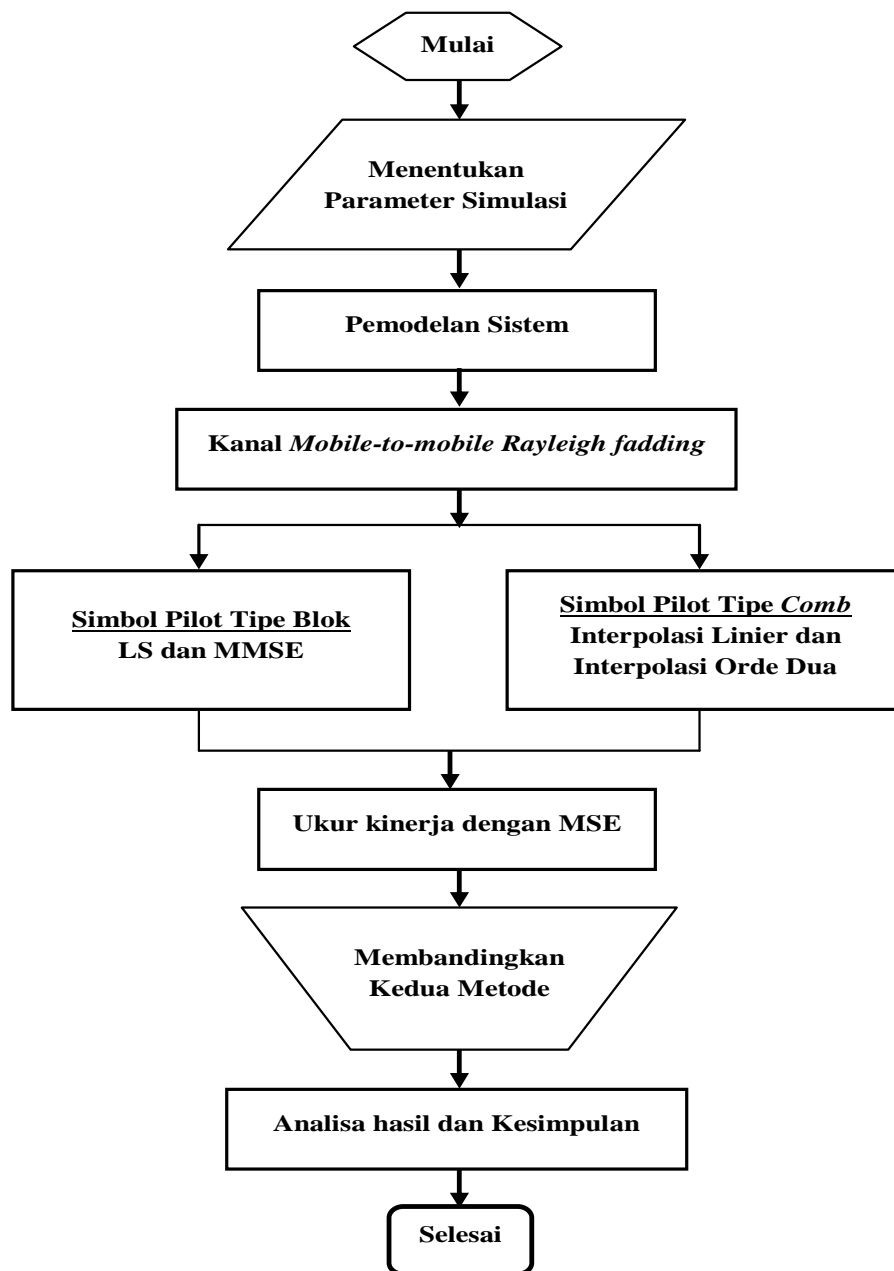
3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini penulis menjelaskan tentang metode penelitian untuk mengkonsep alur kerja atau langkah-langkah kerja pada penelitian ini. Metode yang digunakan dalam mengestimasi kanal adalah dengan metode penyisipan pilot pada data yang dikirimkan untuk mendapatkan respon kanal terbaik pada sistem penerima OFDM. Adapun prosedur penelitian adalah sebagai berikut:

3.2 Prosedur Penelitian

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah membuat alur kerja yaitu dapat dilihat pada gambar 3.1. Langkah pertama adalah dengan menentukan parameter yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan studi *literatur* dan yang kedua yaitu membuat pemodelan sistem OFDM dan dilanjutkan dengan pembuatan *script* pada matlab R2008b.

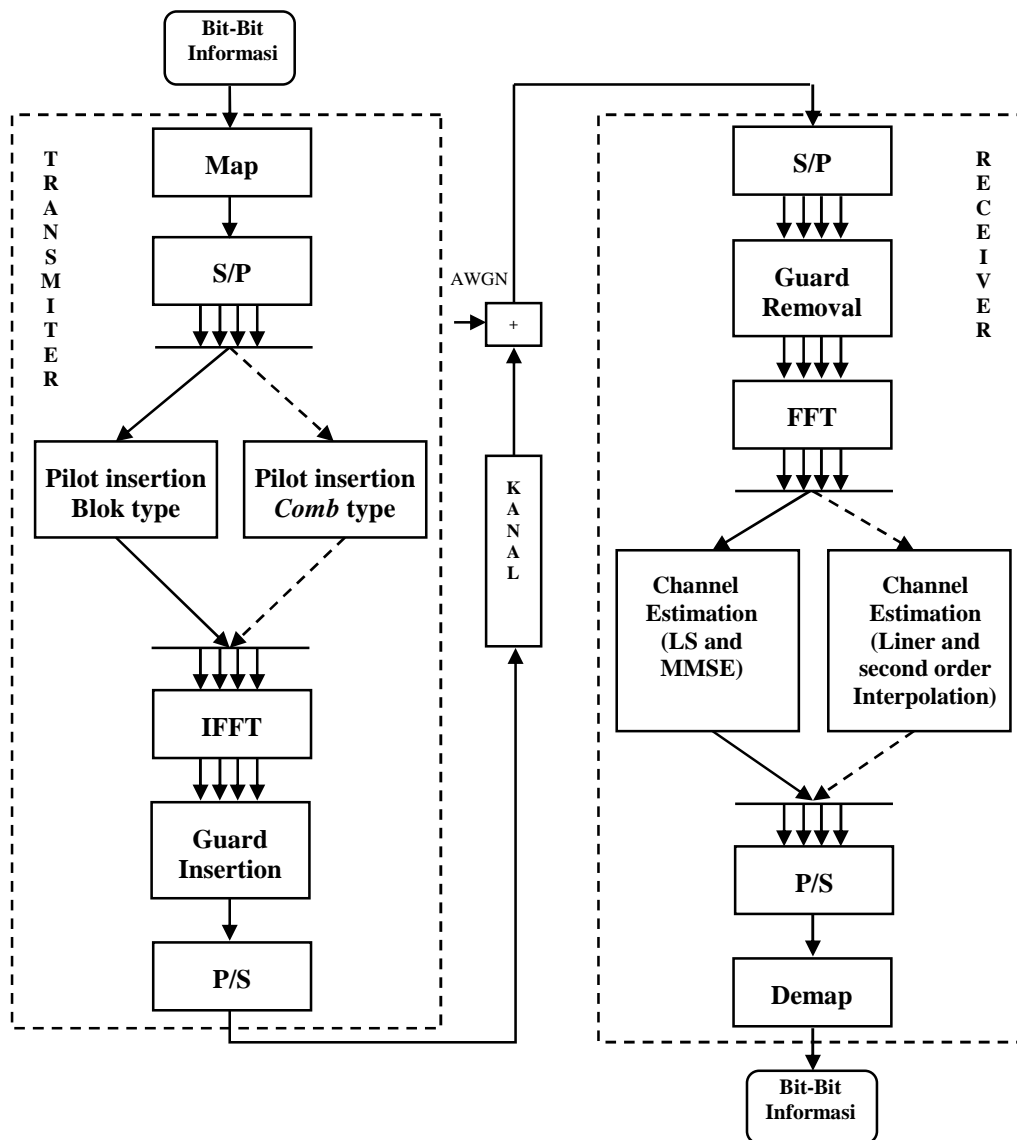
Pada bagian estimasi kanal akan menggunakan pilot tipe blok dan pilot tipe *comb*, pada pilot tipe blok akan diestimasi menggunakan *Last square* (LS) dan *Minimum Mean Square Error* (MMSE). Sedangkan pada pilot tipe *comb* akan diestimasi menggunakan interpolasi linier dan interpolasi orde dua. Kemudian langkah selanjutnya membandingkan kedua estimasi tersebut yaitu estimasi kanal dengan pilot tipe blok dan *comb*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui estimasi kanal mana yang memiliki kinerja yang lebih baik. Tahap selanjutnya adalah penarikan kesimpulan.



Gambar 3.1 *Flowchart* Tahapan Penelitian

3.3 Skenario kerja

Pada skenario kerja ini estimasi kanal OFDM dimodelkan menjadi tiga sistem yaitu pengirim, kanal dan penerima. Pada bagian pengirim ditambahkan dengan simbol pilot tipe blok dan tipe *comb* sedangkan pada penerima ditambahkan *channel estimation* yaitu untuk pilot tipe blok berdasarkan LS dan MMSE kemudian pada pilot tipe *comb* berdasarkan interpolasi linier dan interpolasi orde dua. Masing-masing blok diagram dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram blok OFDM dengan estimasi kanal

Pada bagian pengirim diagram blok OFDM terdiri dari masukan, pemetaan, pengubah serial to paralel, penyisipan pilot tipe blok dan *comb*, *inverse fast fourier transform* (IFFT), *guard insertion* dan pengubah paralel to serial. Sedangkan pada penerima terdiri dari pengubah serial to paralel, *guard insertion*, FFT, *channel estimation* pada pilot tipe blok didasarkan pada LS dan MMSE kemudian pada pilot tipe *comb* didasarkan pada interpolasi linier dan interpolasi orde dua serta pengubah paralel to serial dan keluaran merupakan bit-bit informasi sesuai dengan bit-bit yang dikirimkan.

Bit-bit informasi yang akan dikirim merupakan data serial yang terlebih dahulu harus dimodulasikan dengan teknik modulasi QPSK dengan proses *mapping*. *Mapping* adalah pemetaan atau konstelasi sesuai dengan natural *mapping* kemudian data-data masukan akan dikelompokkan menjadi simbol-simbol yang kemudian diteruskan ke pengubah serial to paralel. Data *binary* yang telah dimodulasikan dengan modulasi QPSK menjadi sinyal frekuensi tersebut mulanya merupakan sinyal tunggal dan menjadi beberapa sinyal serial setelah diubah menjadi deretan sinyal paralel. Setelah bit informasi berupa sinyal paralel maka akan disisipkan pilot. Pilot ini berfungsi untuk estimasi. Simbol pilot yang digunakan dalam simulasi ini ada dua jenis pilot yaitu pilot tipe blok dan tipe *comb*. Selanjutnya akan dilanjutkan ke blok IFFT, Proses ini bertujuan untuk menghasilkan simbol-simbol OFDM yang saling *orthogonal* satu sama lain atau untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. Atau juga sering disebut proses modulasi. Panjang dari IFFT tersebut akan ditambahkan *guard insertion* atau yang sering disebut *cyclic prefix* (CP), CP yaitu penambahan simbol dengan cara menyalin beberapa simbol dari akhir frame IFFT untuk dimasukkan pada awal frame. Ini bertujuan untuk mengurangi terjadinya *Intersymbol Interference* (ISI). Simbol-simbol OFDM yang masih berupa bentuk paralel tersebut akan diubah kembali menjadi serial pada blok pengubah paralel to serial sebelum ditransmisikan ke media kanal.

Proses penerima merupakan kebalikan dari proses pengiriman, penerima akan membawa sinyal terima yang melalui kanal. Kanal adalah media elektromagnetik diantara pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Kanal komunikasi *wireless* antara *transmitter* dan *receiver* merupakan gelombang radio. Gelombang ini rentan oleh gangguan sistem transmisi, salah satunya adalah *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Setelah sinyal diterima pada penerima maka sinyal yang masih berupa sinyal serial tersebut

akan dirubah kedalam bentuk paralel dengan blok pengubah serial to paralel dan pelepasan CP atau *guard removal*. *Guard removal* merupakan kebalikan dari *guard insertion* yaitu proses pelepasan atau penghapusan simbol frame yang dikopikan untuk mengembalikan simbol pada awalnya. Setelah pelepasan CP maka data akan melalui proses FFT. FFT merupakan kebalikan dari proses IFFT. Proses FFT bertujuan untuk memisahkan kembali simbol OFDM atau juga disebut proses demodulasi. Pada blok *channel estimation* ini dilakukan estimasi kanal dimana pada estimasi kanal menggunakan pilot tipe blok didasarkan pada LS dan MMSE dan pada estimasi kanal menggunakan pilot tipe *comb* didasarkan pada interpolasi linier dan interpolasi orde dua. Setelah proses estimasi selesai maka data akan melalui blok paralel to serial. Bit informasi yang berbentuk paralel kembali dikonversi ke bentuk serial dan kemudian diteruskan ke proses *demapping* guna untuk pelepasan sinyal yang terkonstelasi atau demodulasi. Proses *demapping* adalah proses pengembalian data yang telah terkonstelasi menjadi bit data pada saat sebelum terkonstelasi. Sehingga pada bit informasi sewaktu penerima sama dengan bit informasi yang dikirimkan.

3.4 Parameter Simulasi

Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi dan pemodelan ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang akan dikirimkan berupa bit-bit informasi kemudian dibangkitkan secara acak sebanyak 30720 bit data.
2. Menggunakan teknik modulasi QPSK.
3. Menggunakan kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* dipengaruhi AWGN.
4. Jumlah FFT yang digunakan adalah sebanyak 128.
5. Jumlah *subcarrier* adalah sebanyak 120
6. Banyaknya jumlah pilot adalah 8.
7. *Cyclic Prefix* pada setiap *subcarrier* berjumlah 32.
8. Melakukan estimasi kanal dengan pilot tipe blok berdasarkan LS, MMSE dan pilot *comb* berdasarkan interpolasi linier dan interpolasi orde dua serta menerapkan teknik *equalizer zero forcing*.
9. Unjuk kerja estimasi berdasarkan MSE

3.5 Pembangkit Bit Informasi

Dalam penelitian ini bit-bit informasi yang akan dikirimkan terlebih dahulu akan dibangkitkan berdasarkan distribusi *uniform* dengan nilai 0 dan 1 secara acak. Bit-bit informasi yang akan dibangkitkan yang berupa bit 0 dan 1 dapat ditentukan peluang kemunculan bit 0 dan 1 dengan level *threshold*. Level tersebut digunakan berada pada titik 0.5 yaitu apabila nilai acak yang dibangkitkan memiliki nilai lebih kecil dari 0.5 maka nilai yang dihasilkan adalah bit 0 sedangkan bila nilai acak yang dibangkitkan lebih besar dari 0.5 maka nilai yang dihasilkan adalah bit 1.

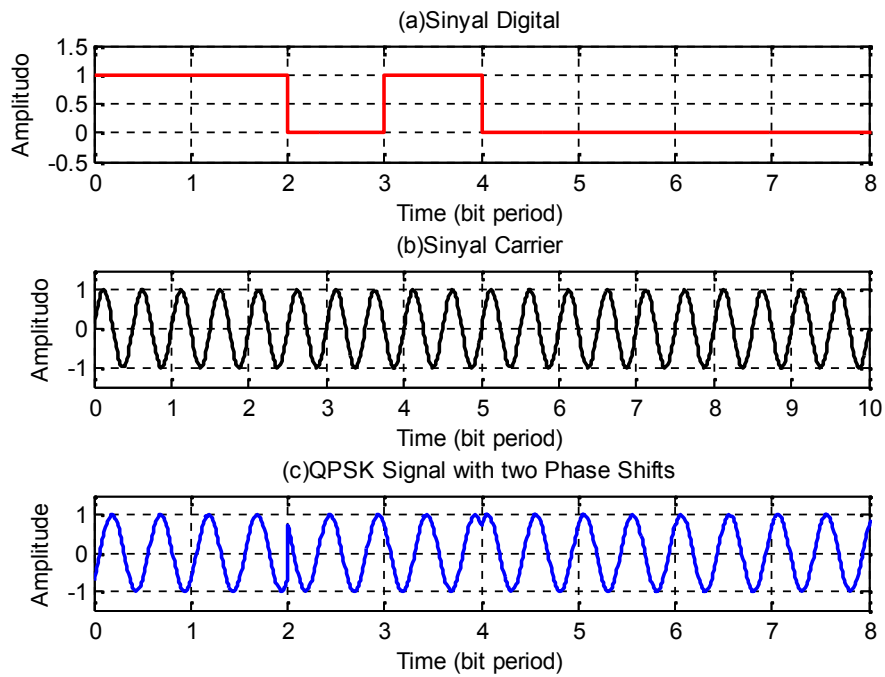
Pada penelitian ini bit informasi yang akan dibangkitkan berjumlah 30270 bit. Bit-bit informasi tersebut dapat dibangkitkan dengan matlab dengan fungsi matlab yaitu fungsi `randint` dengan menerapkan modulasi QPSK.

QPSK merupakan teknik pengkodean *M-ary* dimana $M = 4$, karena ini merupakan *quarternary* yang berarti 4 dan merupakan suatu turunan dari kata *binary*. M merupakan digit yang mewakili banyaknya kondisi yang mungkin, yaitu $-1 -i$, $-1 i$, $1 -i$ dan $1 i$ atau dengan kata lain QPSK dapat mendekode 2 bit/symbol sehingga terdapat 4 fasa keluaran yang berbeda pada perbedaan fasa sebesar 90° .

3.6 Proses modulasi

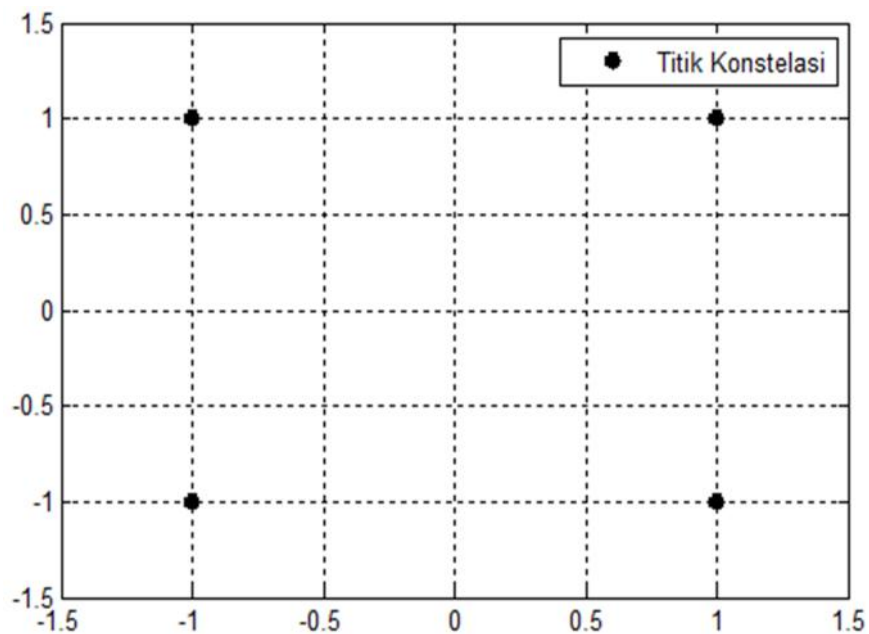
Pada proses modulasi bit-bit informasi yang dikirim terlebih dahulu akan dimodulasi. Bit-bit informasi tersebut akan dikodekan menggunakan modulasi QPSK. Modulasi QPSK merupakan modulasi yang memetakan 2 bit menjadi 1 simbol. Bit-bit informasi tersebut akan didistribusikan kedalam kanal *Inphase* (I) dan *Quadrature* (Q) dimana 1 bit untuk kanal *Inphase* dan 1 bit untuk kanal *Quadrature*.

Bit-bit informasi yang telah termodulasi QPSK merupakan bentuk kompleks dari bilangan *real* dan bilangan *imaginer*. Sinyal informasi pada modulasi QPSK berjumlah 30720 bit setelah termodulasi akan menjadi 15360 bit karena 2 bit untuk 1 simbol.



Gambar 3.3 Sinyal QPSK

Gambar 3.3 menjelaskan bahwa pada bagian (a) menerangkan sinyal digital dari QPSK yang dibangkitkan kemudian pada bagian (b) merupakan sinyal *carrier* dari QPSK kemudian pada bagian (c) merupakan sinyal QPSK yang memetakan 2 bit untuk 1 simbol.



Gambar 3.4 Konstelasi QPSK

Gambar 3.4 merupakan *mapping* atau pemetaan konstelasi dari sinyal QPSK. Setelah proses *mapping* dilakukan maka kemudian bit-bit yang telah dipetakan akan dirubah menjadi bentuk simbol-simbol dan seterusnya akan diteruskan ke proses pengubah serial to paralel.

3.7 Proses serial to paralel

Pada blok serial to paralel ini bit-bit informasi yang dikirim yang telah dimodulasi QPSK yang berbentuk bit serial akan dikonversi ke bentuk paralel. Sinyal yang tadinya hanya berbentuk satu baris dan beberapa kolom menjadi beberapa baris dan beberapa kolom setelah dilakukan konversi ke bentuk paralel tersebut.

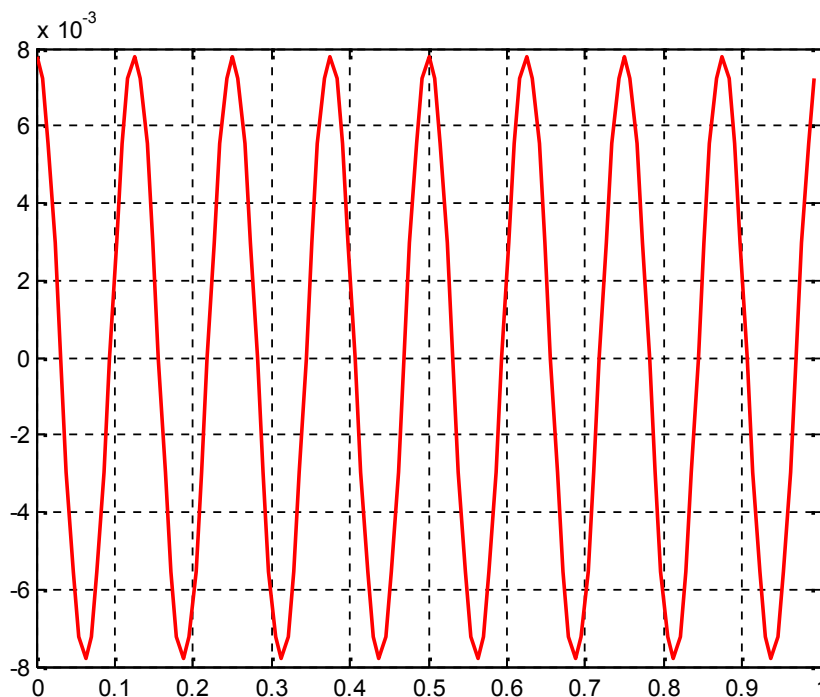
Pada penelitian ini simulasi yang akan digunakan dalam membangkitkan bit-bit yang akan dikonversikan ke dalam bentuk paralel dapat dilakukan dengan fungsi `reshape` yang terdapat pada fungsi matlab.

3.8 Proses penyisipan Pilot

Pada bagian penyisipan pilot simulasi yang akan dilakukan menggunakan pilot tipe blok dan pilot tipe *comb*. Pilot yang disisipkan merupakan angka skalar satu yang bertujuan untuk memudahkan pada saat estimasi kanal. Pada pilot blok ini beroperasi pada domain waktu sedangkan pilot tipe *comb* beroperasi pada domain frekuensi. Proses simulasi ini setiap *subcarrier* akan disisipkan 8 buah pilot, sehingga apabila jumlah *subcarrier* 120 maka interval untuk tiap penyisipan pilot adalah 15 untuk setiap panjang fft. Dalam simulasi ini proses penyisipan pilot dapat dibangkitkan pada fungsi `ones` pada matlab.

3.9 Proses IFFT

Setelah proses penyisipan pilot selesai maka sinyal tersebut akan melalui proses IFFT, IFFT ini bertujuan untuk menghasilkan simbol-simbol OFDM yang saling *orthogonal* dari setiap *carrier* satu sama lain dan sub-kanal dapat saling *overlapping* tanpa menimbulkan *interference*. Atau juga sering disebut proses modulasi pada OFDM. Pada simulasi ini proses IFFT akan dibangkitkan menggunakan fungsi `ifft` pada matlab sedangkan jumlah N pada ifft adalah 128.



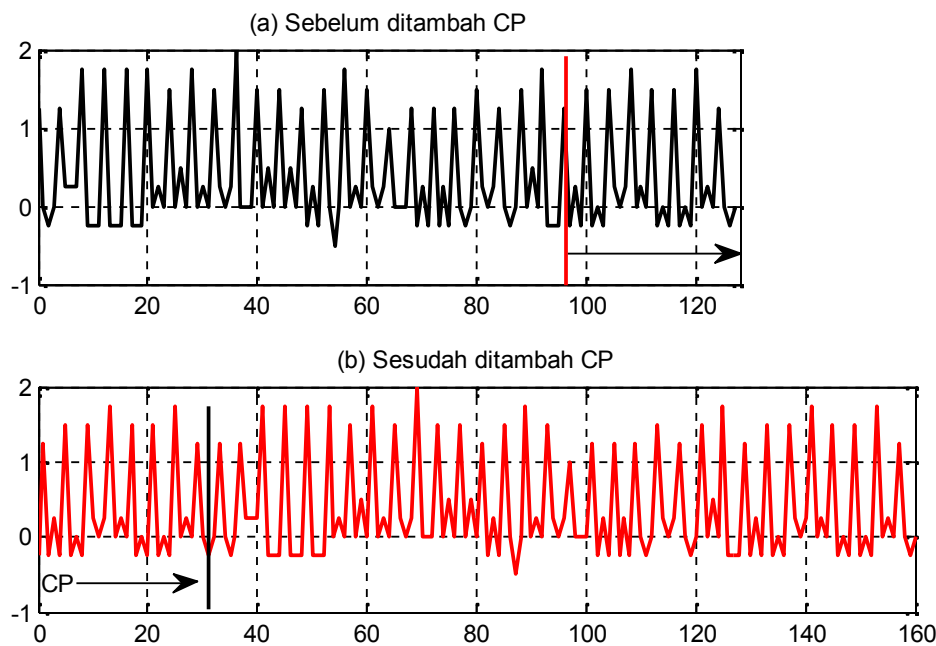
Gambar 3.5 Sinyal Keluaran IFFT

3.10 Proses penambahan *cyclic prefix* (CP)

Proses penambahan *cyclic prefix* ini bertujuan untuk menghindari terjadinya *Intersymbol Interference* (ISI). *Cyclic prefix* merupakan salinan dari bagian akhir simbol OFDM yang ditempatkan didepan pada saat pengiriman sinyal OFDM. Ketika sampai dipenerima maka *cyclic* tersebut akan dibuang atau dilepaskan.

Pada simulasi ini jumlah *cyclic prefix* yang digunakan adalah $\frac{1}{4}$ dari jumlah simbol OFDM sehingga jika jumlah simbol OFDM adalah 128 maka banyaknya jumlah *cyclic prefix* yang digunakan dalam simulasi ini adalah 32 simbol.

Sinyal OFDM yang telah ditambah dengan *cyclic prefix* dapat dilihat seperti pada gambar 3.6. Pada gambar 3.6 terlihat bahwa pada bagian (a) sebelum sinyal ditambahkan dengan *cyclic prefix* sinyal OFDM tersebut terdiri dari 128 simbol OFDM. setelah ditambahkan *cyclic prefix* sebanyak $\frac{1}{4}$ simbol dari sinyal OFDM sehingga menjadi 160 simbol OFDM, pada bagian (b). Sinyal *cyclic prefix* tersebut yang digunakan berasal dari $\frac{1}{4}$ bagian akhir sinyal OFDM. Kemudian sinyal *cyclic prefix* ini ditambahkan pada bagian awal dari sinyal OFDM.



Gambar 3.6 Penambahan *cyclic prefix* (CP)

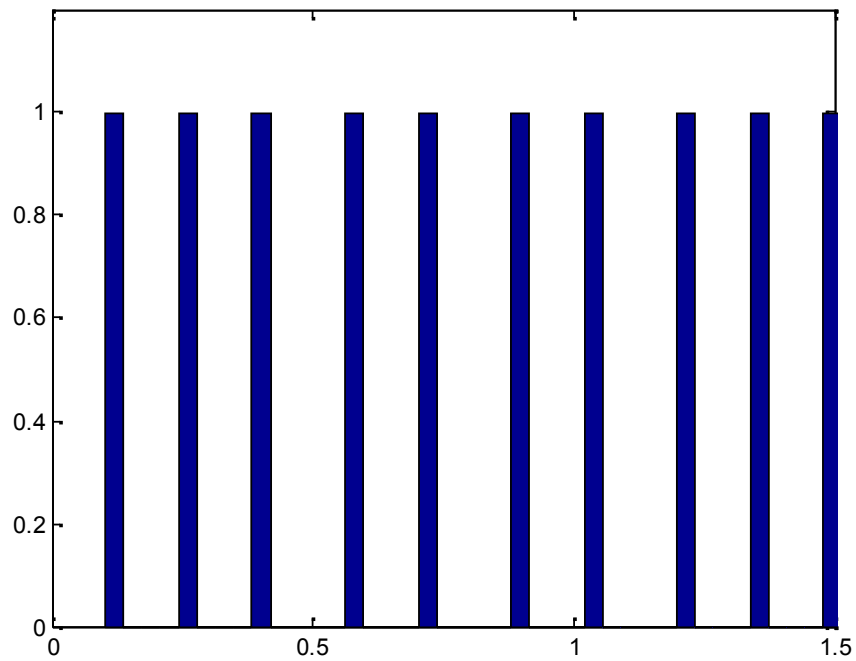
3.11 Proses paralel to serial

Pada bagian paralel to serial ini sinyal OFDM yang dikirim dan telah ditambahkan dengan *cyclic prefix* (CP) harus dirubah menjadi bentuk serial. Sinyal OFDM yang semula terdiri dari beberapa baris dan beberapa kolom setelah dikonversi ke dalam serial akan menjadi satu baris dan beberapa kolom. Adapun *script* matlab yang digunakan pada konversi paralel to serial adalah menggunakan fungsi `reshape` yang terdapat pada program matlab.

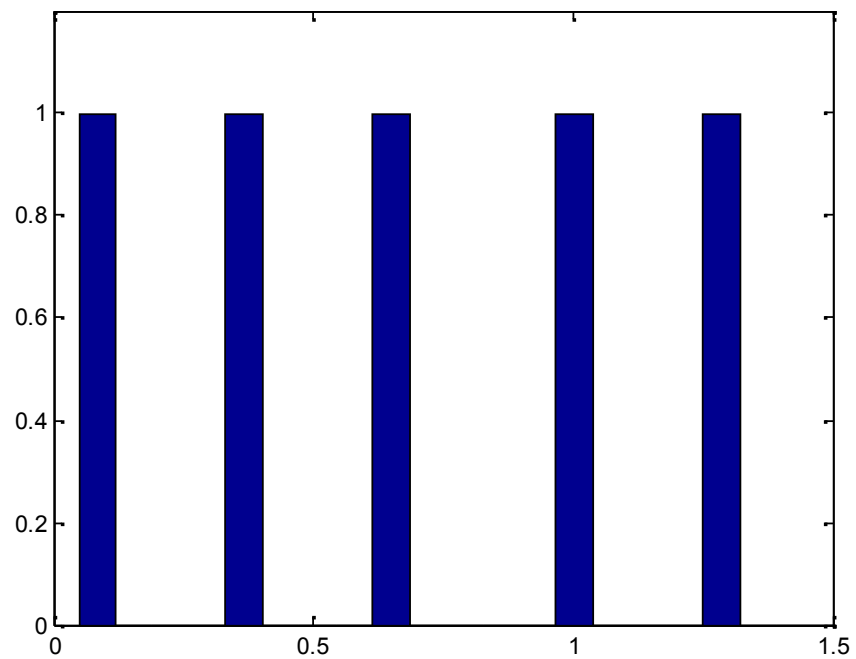
3.12 Pemodelan Kanal

Kanal adalah media transmisi yang digunakan untuk mengirimkan sinyal dari pengirim ke penerima. Kanal memiliki karakteristik berbeda-beda tergantung pada pemodelan kanal itu sendiri. Dalam sistem komunikasi *wireless* tidak akan terjadi kanal ideal, kanal ideal adalah dimana sinyal yang dikirim dari pengirim tidak mengalami perubahan ataupun terkena *noise* sehingga penerima dapat menerima sinyal yang dikirim dari pengirim dengan sempurna. Pada simulasi ini tipe kanal yang digunakan adalah *mobile-to-mobile Rayleigh fading* yang dipengaruhi oleh *noise* terdistribusi *gaussian* atau AWGN. Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* (2) dapat direpresentasikan pada persamaan 2.4, 2.5 dan 2.6. Faktor alfa dan beta dalam kanal *mobile-to-mobile Rayleigh*

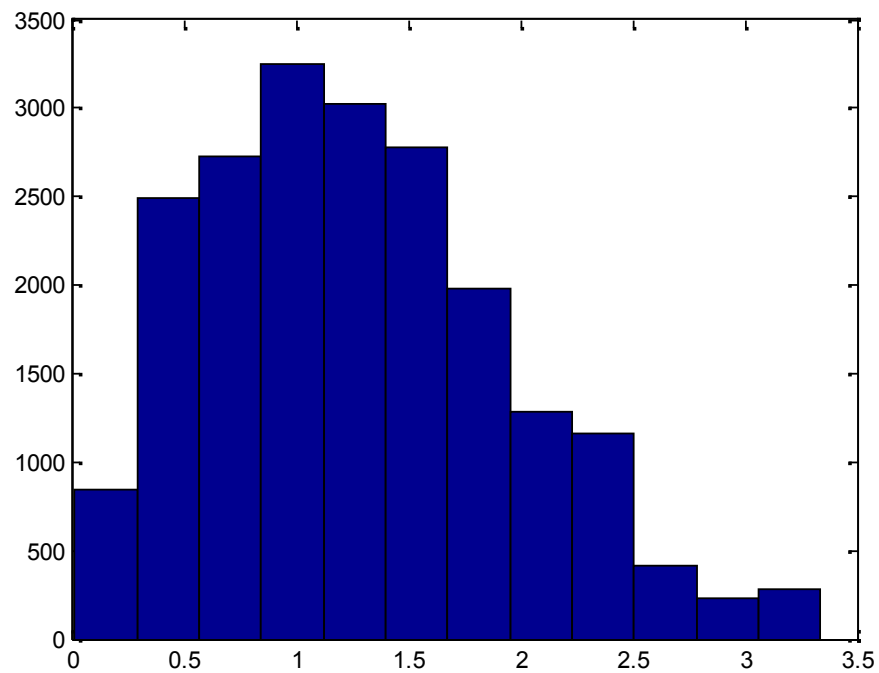
fading (7) dapat dilihat pada gambar 3.7 dan 3.8. alfa (α_n) merupakan sudut keberangkatan saat sinyal dikirimkan melalui pengirim (Tx) dan beta (β_n) merupakan sudut kedatangan saat sinyal yang dikirimkan sampai di penerima (Rx).



Gambar 3.7 Histogram alfa dari kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading*

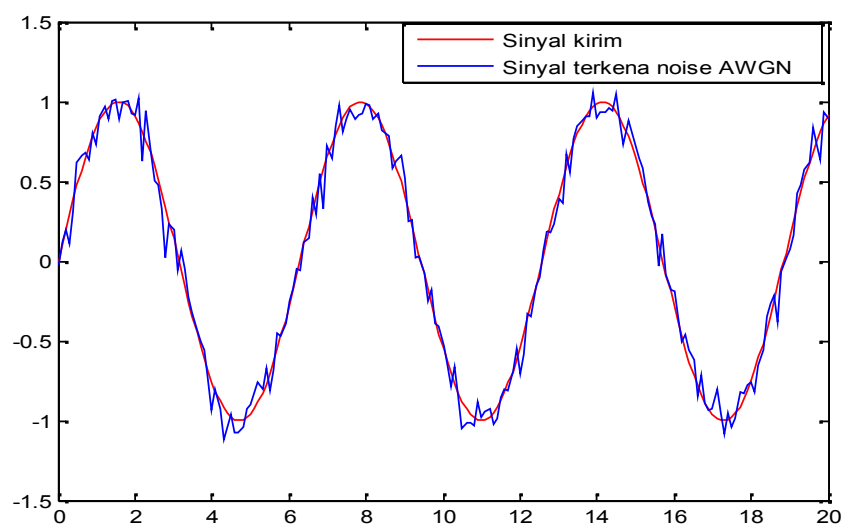


Gambar 3.8 Histogram beta dari kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading*



Gambar 3.9 Histogram kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading*

Pada kanal transmisi selalu terjadi penambahan derau yang sering timbul akibat dari akumulasi derau termal dari perangkat Tx, kanal transmisi dan Rx. Dalam sistem komunikasi sinyal yang ditransmisikan melalui kanal sering terjadi gangguan-gangguan seperti *noise*, hal ini tentunya akan mengurangi kualitas sinyal itu sendiri.

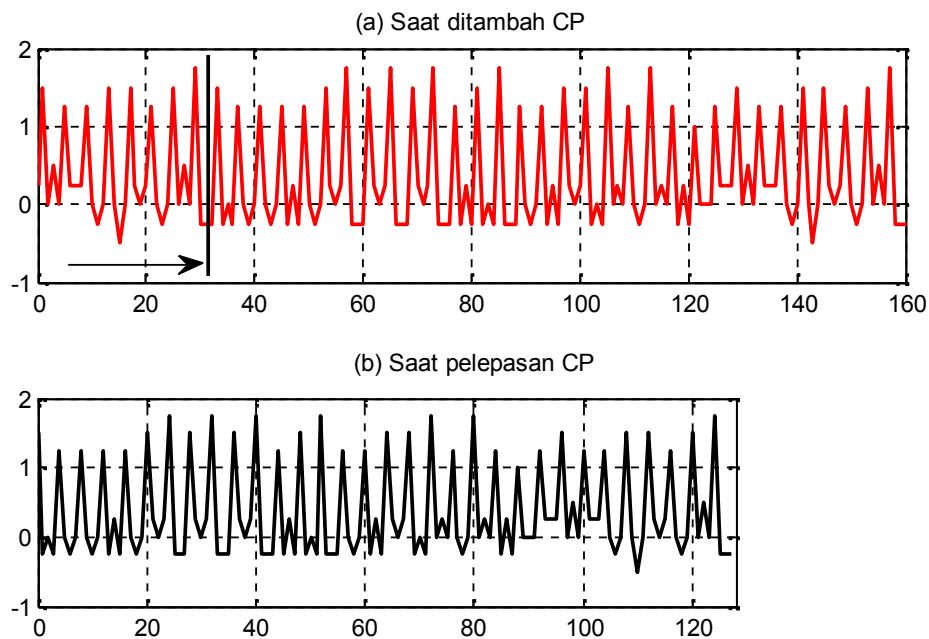


Gambar 3.10 Sinyal AWGN

Gambar 3.10 menjelaskan sebuah sinyal yang dilewatkan melalui sebuah kanal. Pada model ini, sebuah sinyal yang ditransmisikan $x(t)$ terkena sebuah *noise* acak yaitu $n(t)$. Ketika sinyal mendapat redaman selama proses pentransmisian melalui sebuah kanal, maka sinyal yang diterima pada interval $0 \leq t \leq T$, maka dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3.

3.13 Proses pelepasan *cyclic prefix* (CP)

Proses pelepasan CP merupakan proses pelepasan kembali antara sinyal sebenarnya dengan sinyal yang ditambahkan oleh *cyclic* sehingga didapatkan data informasi yang sebenarnya. Sinyal yang telah ditambah CP berjumlah 160 maka pada proses pelepasan CP ini sinyal akan kembali seperti yang semula yaitu sebanyak 128. Gambar 3.11 menunjukkan proses pelepasan *cyclic prefix*.



Gambar 3.11 Pelepasan *cyclic prefix* (CP)

3.14 Proses FFT

Proses FFT merupakan kebalikan dari proses IFFT. Proses FFT bertujuan untuk memisahkan kembali data informasi dengan *carrier* pada OFDM atau juga disebut proses demodulasi. Proses FFT dapat dibangkitkan pada matlab dengan fungsi `fft`.

3.15 Estimasi Kanal

Teknik estimasi pada simulasi ini menggunakan teknik estimasi berdasarkan penyisipan pilot. Jenis pilot yang digunakan ada dua jenis yaitu jenis tipe blok dan tipe *comb*. Pada pilot tipe blok ini pilot akan disisipkan kedalam semua *subcarrier* berdasarkan ranah waktu tertentu. Untuk mendapatkan nilai estimasi berdasarkan susunan pilot tipe blok dapat dilakukan dengan menggunakan *least square* (LS) dan *Minimum Mean Square Error* (MMSE) sesuai dengan persamaan 2.7 dan 2.8. Penyisipan pilot pada tipe *comb* dilakukan dengan menyisipkan pilot ke dalam *subcarrier* dengan rentang frekuensi tertentu. Untuk mendapatkan nilai estimasi dengan pilot tipe *comb* dapat dilakukan dengan *least square* (LS) dan dilanjutkan dengan teknik interpolasi linier dan interpolasi orde dua. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan interpolasi dapat dilihat pada persamaan 2.9 dan 2.10. Setelah nilai dari estimasi maka akan dilanjutkan dengan perhitungan pada MSE guna untuk mengukur hasil kinerja estimasi.

3.15.1 Estimasi kanal dengan *least square* (LS)

Untuk perhitungan menggunakan LS ini dapat dilakukan dengan memperkecil jumlah kuadrat selisih dari nilai sesungguhnya dengan nilai yang diprediksi, yaitu membagi nilai yang diterima dengan nilai yang dikirimkan.

3.15.2 Estimasi kanal dengan *minimum mean square error* (MMSE)

Pada MMSE dapat dihitung dengan cara meminimalkan kuadrat galat terkecil (*Mean Square Error*) antara kanal sebenarnya dan kanal hasil estimasi dengan cara korelasi silang antara respon implus kanal h , kemudian ditambah dengan β yang merupakan faktor konstelasi dari modulasi QPSK dan dibagi dengan SNR serta dikalikan dengan matrik identitas dari panjang FFT kemudian dikalikan dengan nilai \tilde{H}_{LS} yaitu nilai estimasi dari *least square* (LS).

3.15.3 Estimasi kanal dengan interpolasi linier

Untuk mendapatkan titik estimasi kanal pada *subcarrier* dengan interpolasi linier maka dengan menggunakan dua estimasi simbol pilot yang berdekatan. Sebelum menentukan titik yang akan diinterpolasi terlebih dahulu menggunakan estimasi kanal dengan teknik *least square*, setelah teknik *least square* telah dilakukan maka hasil teknik

least square digunakan untuk teknik interpolasi dimana titik pilot merupakan jarak pilot yang satu dengan pilot yang seterusnya.

3.15.4 Estimasi kanal dengan interpolasi orde dua

Teknik interpolasi orde dua sebenarnya sama dengan teknik interpolasi linier, hanya saja interpolasi orde dua menggunakan tiga titik pilot yang berdekatan untuk diestimasi, dalam penelitian ini sebelum melakukan interpolasi terlebih dahulu menentukan *least square* kemudian digunakan untuk mendapatkan titik estimasi dengan teknik interpolasi orde dua yaitu dengan cara menggunakan tiga estimasi kanal simbol pilot yang berdekatan.

3.16 Perhitungan BER vs Eb/No dengan F_d yang bervariasi

Untuk perhitungan BER dapat dilakukan dengan cara membandingkan deretan bit yang dikirimkan terhadap deretan bit yang dideteksi pada penerima, kemudian selanjutnya bit yang salah akan dibagi dengan bit yang dibangkitkan dimana metode ini disebut dengan *monte carlo*. Sedangkan Eb/No adalah merupakan perbandingan dari level daya sinyal yang diterima terhadap tingkat daya *noise*. Pada simulasi ini akan menggunakan F_d yang ternormalisasi yang digunakan pada kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading*. F_d total pada kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* dapat dicari dengan cara sebagai berikut (Mulyono, 2012).

$$F_{d1} = \frac{F_d}{1+a}, F_{d2} = F_d - F_{d1} \quad (3.1)$$

Dimana F_{d1} merupakan F_d yang terdapat pada bagian pengirim (T_x), sedangkan F_{d2} adalah merupakan F_d yang terdapat pada bagian penerima (R_x), F_d merupakan total F_d yang terdapat pada kanal *mobile-to-mobile*. Untuk membangkitkan nilai F_d ternormalisasi pada matlab dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$F_d = 0.1$$

$$a = 1, \quad f_{d1} = F_d / (1+a), \quad f_{d2} = F_d - f_{d1}$$

Jika nilai $a = 0.5$ maka $F_{d1} > F_{d2}$, sedangkan jika $a = 1$ maka $F_{d1} = F_{d2}$, jika $a = 1.5$ maka nilai dari $F_{d2} > F_{d1}$.

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

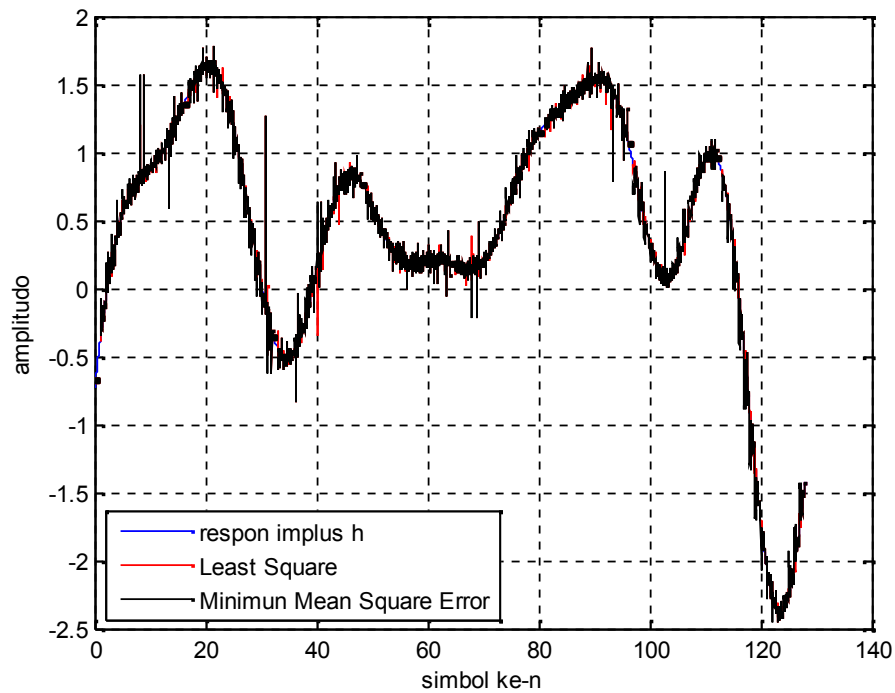
Pada penelitian ini simulasi akan menggunakan bahasa pemrograman matlab dimana proses simulasi akan dilakukan dengan pengulangan sebanyak 10 iterasi. Simulasi ini dilakukan untuk mengukur unjuk kerja dari estimasi kanal berdasarkan pilot yang akan diterapkan pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading*. Teknik estimasi berdasarkan susunan pilot tipe blok didasarkan pada *least square* dan *minimum mean square error* sedangkan pada pilot tipe *comb* didasarkan pada *least square* dan selanjutnya akan diinterpolasikan berdasarkan interpolasi liner dan interpolasi orde dua. Jumlah titik *scatter* yang digunakan pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* adalah $N = 10$ dan $M = 10$. Model kanal ini disebut dengan model kanal *double ring scatter* dan diasumsikan sebagai NLOS. Simulasi ini juga akan menggunakan frekuensi *Doppler* (F_d) yang ternormalisasi untuk melihat seberapa besar pengaruh *Doppler spread* yang terjadi pada kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading*. Besarnya nilai frekuensi *Doppler* (F_d) yang terdapat pada kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* bergantung pada nilai frekuensi *Doppler* yang terdapat pada pengirim (Tx) dan penerima (Rx). Sehingga besarnya nilai total F_d adalah jumlah dari nilai F_{d1} ditambah dengan nilai F_{d2} . Dengan demikian untuk melihat perbandingan seberapa besar pengaruh antara F_{d1} dengan F_{d2} harus digunakan nilai F_d yang berbeda saat melakukan simulasi. Untuk melihat kinerja dari estimasi dapat dilakukan dengan cara membandingkan antara nilai *mean square error* (MSE) vs F_d kemudian dilanjutkan dengan melihat kinerja *equalizer zero forcing* untuk estimasi berdasarkan BER vs E_b/N_0 .

4.1 Estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok dan tipe *comb*

Pada estimasi kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* berdasarkan susunan pilot tipe blok dari simulasi tidak mendapatkan hasil simulasi yang baik karena estimasi berdasarkan susunan pilot tipe blok ini tidak sesuai pada model kanal *fast fading*. Sedangkan pada simulasi ini menggunakan model kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* yang bersifat *fast fading*. Pilot tipe blok bekerja lebih baik apabila diterapkan dalam model kanal yang bersifat *slow fading*. Sedangkan estimasi kanal berdasarkan susunan pilot tipe *comb* pada saat melakukan simulasi mendapatkan hasil simulasi yang baik. Karena pada pilot tipe *comb* ini sesuai pada kanal yang bersifat *fast fading*.

4.2 Respon impuls kanal terhadap hasil estimasi berdasarkan pilot tipe blok

Untuk mengetahui hasil estimasi kanal dengan respon impuls kanal berdasarkan pada pilot tipe blok dengan teknik *least square* (LS) dan *minimum mean square error* (MMSE) dapat dilihat pada gambar 4.1.

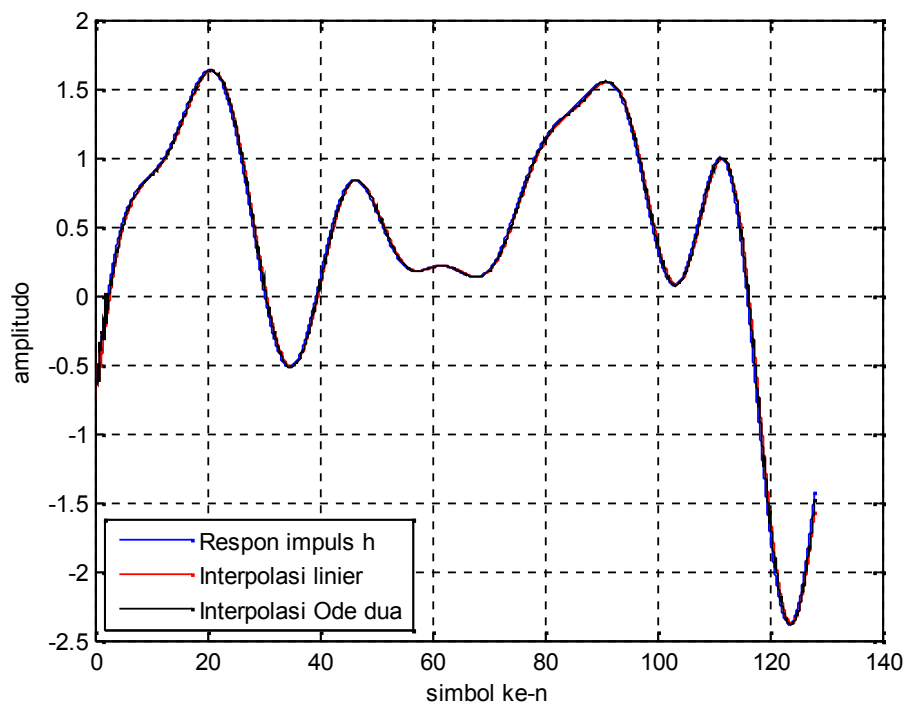


Gambar 4.1 LS dan MMSE untuk $F_d = 0.06$ pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading*

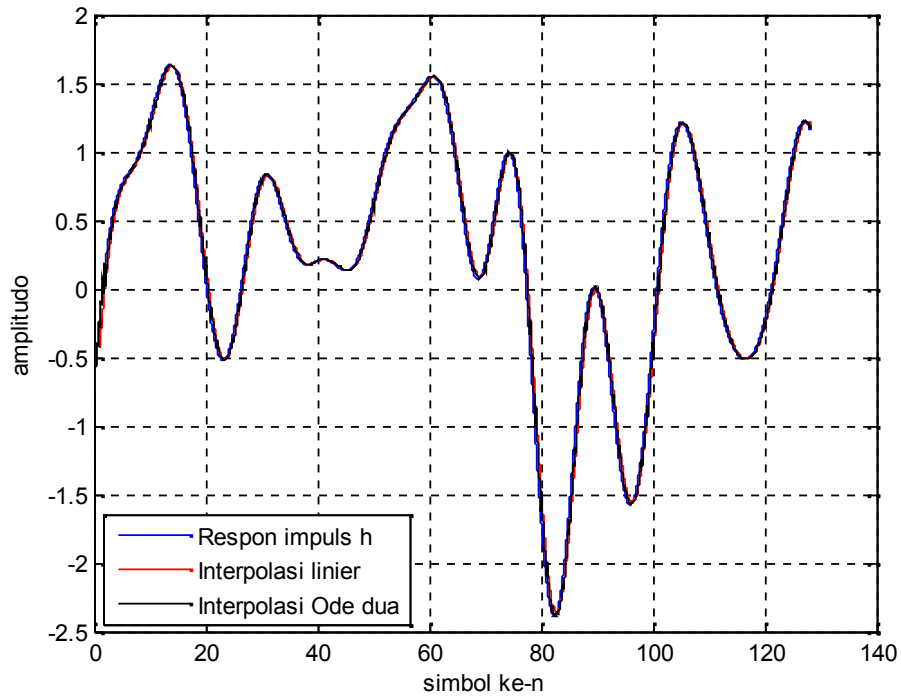
Dari gambar 4.1 terlihat bahwa posisi *least square* (LS) dan *minimum mean square error* (MMSE) dengan frekuensi *Doppler* 0.06 tercampur *noise* namun sinyal sudah mengikuti lengkungan dari respon impuls kanal.

4.3 Respon impuls kanal terhadap hasil estimasi berdasarkan pilot tipe *comb*

Untuk mengetahui hasil estimasi kanal dengan respon impuls kanal berdasarkan pada pilot tipe *comb* dengan teknik interpolasi liner dan orde dua dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Interpolasi linier dan orde dua untuk $F_d = 0.06$ pada kanal *mobile-to-mobile* *Rayleigh fading*



Gambar 4.3 Interpolasi linier dan orde dua untuk $F_d = 0.09$ pada kanal *mobile-to-mobile* *Rayleigh fading*

Untuk interpolasi linier dan orde dua dengan frekuensi *Doppler* 0.06 dari gambar 4.2 terlihat bahwa posisi interpolasi linier dan interpolasi orde dua dimana lengkungan sinyal berada pada posisi yang hampir sama dengan respon impuls kanal. Sedangkan pada gambar 4.3 menjelaskan respon impuls untuk interpolasi linier dan interpolasi orde dua terhadap respon impuls kanal dengan frekuensi *Doppler* 0.09, sinyal hampir sama pada sinyal respon impuls kanal hanya saja proses osilasi yang terjadi pada kanal akan semakin besar sehingga jumlah lengkungan yang terdapat pada kanal juga akan semakin banyak. Hal ini terjadi karena pergeseran frekuensi *Doppler* semakin besar.

4.4 Unjuk kerja estimasi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* berdasarkan pilot tipe blok

Untuk melihat seberapa besar *error* estimasi kanal pada *least square* (LS) dan *minimum mean square error* (MMSE) yang terdapat pada kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* digunakan MSE vs F_d . Perbandingan antara MSE vs F_d pada kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* dapat dilihat seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan MSE dan F_d untuk kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* pada pilot tipe blok

F_d	MSE <i>least square</i>	MSE <i>minimum mean square error</i>
0.06	8.9433	8.9433
0.09	2.5248	2.5248
0.12	3.4551	3.4551
0.15	5.9504	5.9504
0.18	6.7951	6.7951

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa untuk frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.06 sampai 0.18 untuk nilai MSE pada *least square* (LS) memiliki nilai yang sama dengan nilai MSE pada *minimum mean square error* (MMSE). Perbedaan *error* estimasi pada kedua

teknik estimasi saat diuji kinerjanya tidak berpengaruh meskipun besar frekuensi *Doppler* telah dibedakan.

4.5 Unjuk kerja estimasi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* berdasarkan pilot tipe *comb*

Untuk melihat seberapa besar *error* estimasi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* untuk interpolasi linier dan interpolasi orde dua dapat dilihat menggunakan MSE. Perbandingan antara MSE vs F_d pada kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* dapat dilihat seperti pada tabel 4.2.

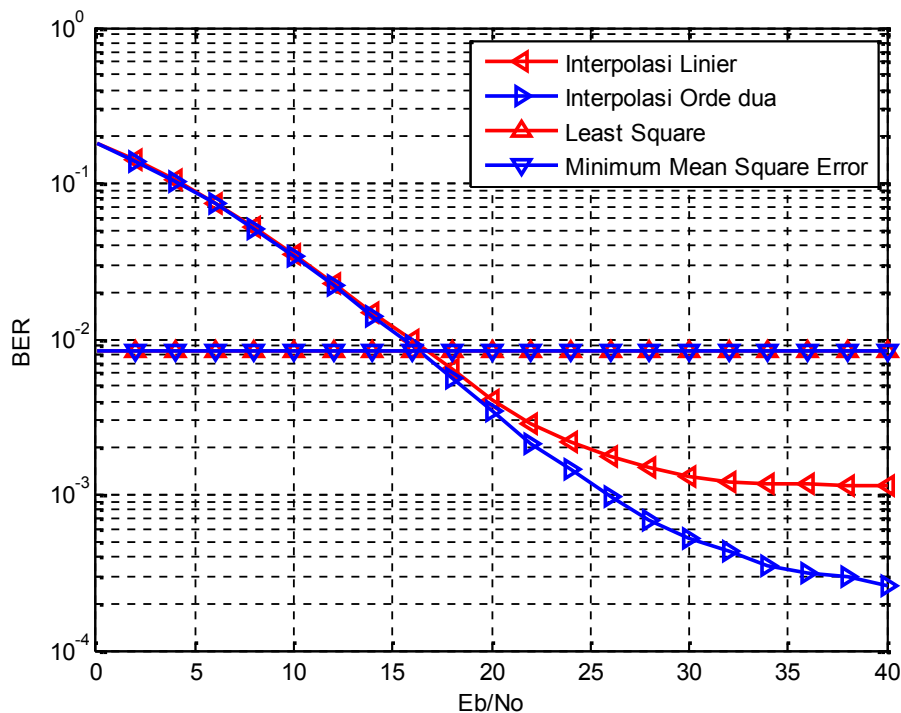
Tabel 4.2 Perbandingan MSE dan F_d untuk kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* pada pilot tipe *comb*

F_d	MSE Interpolasi Linier	MSE Interpolasi Orde dua
0.06	0.0023	0.0012
0.09	0.0057	0.0029
0.12	0.0100	0.0051
0.15	0.0165	0.0085
0.18	0.0255	0.0141

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa *error* estimasi kanal yang diukur dengan menggunakan MSE untuk frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.06 sampai 0.18, Interpolasi linier memiliki nilai MSE lebih tinggi dibandingkan dengan nilai MSE pada interpolasi orde dua. Dari tabel tersebut menjelaskan bahwa MSE pada interpolasi orde dua memiliki tingkat *error* yang lebih rendah dibandingkan dengan *error* pada interpolasi linier. Sedangkan perbedaan *error* estimasi tergantung dengan besarnya frekuensi *Doppler* dan teknik estimasi yang digunakan. Semakin besar frekuensi *Doppler* yang diberikan maka semakin besar tingkat *error*nya.

4.6 Unjuk kerja estimasi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* untuk pilot tipe blok dan *comb* berdasarkan BER vs Eb/No

Pada kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* untuk teknik estimasi berdasarkan susunan pilot tipe blok dan pilot tipe *comb* setelah diukur kinerja estimasi kanal dengan MSE kemudian dilanjutkan dengan membandingkan kinerja estimasi untuk *equalizer zero forcing* berdasarkan nilai BER vs Eb/No. Pada simulasi ini frekuensi *Doppler* yang digunakan bervariasi yaitu 0.06 sampai 0.18.

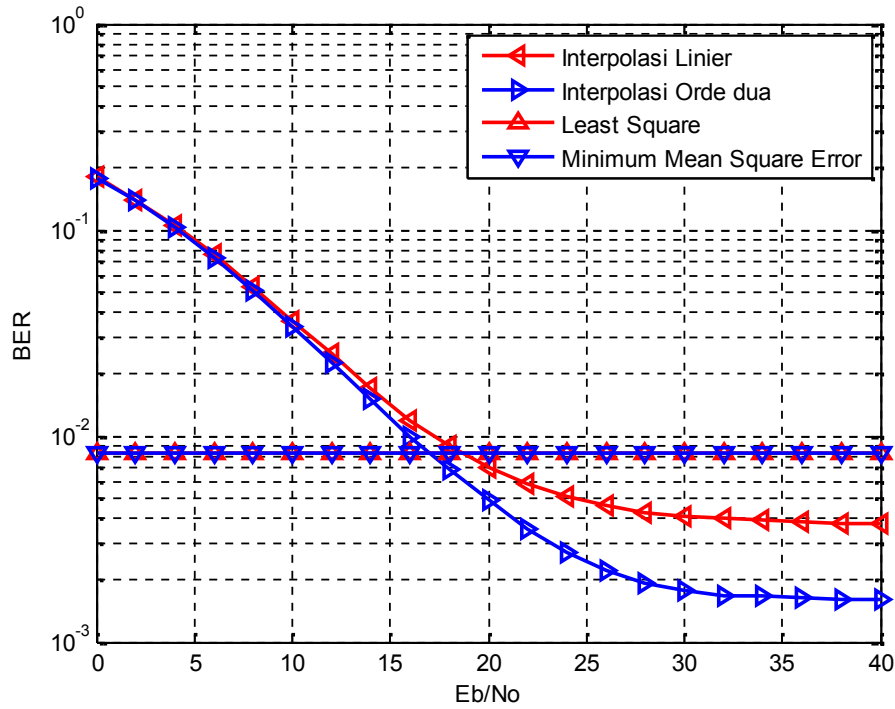


Gambar 4.4 Grafik BER vs Eb/No Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* untuk pilot blok dan *comb* dengan $F_d = 0.06$

Dari gambar 4.4 dapat dilihat perbandingan nilai BER vs Eb/No Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* untuk estimasi berdasarkan pilot tipe blok dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.06, Nilai BER untuk *least square* (LS) maupun untuk *minimum mean square error* (MMSE) mampu mencapai nilai BER 10^{-2} .

Sedangkan untuk estimasi kanal berdasarkan pilot tipe *comb* untuk kinerja estimasi yang diukur berdasarkan nilai BER vs Eb/No, interpolasi linier mampu mencapai BER sebesar 10^{-3} dengan membutuhkan nilai Eb/No sekitar 40 dB dengan frekuensi *Doppler*

ternormalisasi 0.06. Sedangkan interpolasi orde dua untuk mendapatkan nilai BER sebesar 10^{-3} dibutuhkan nilai E_b/N_0 sekitar 26 dB dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.06. Dengan adanya estimasi maka *equalizer* untuk interpolasi orde dua mampu bertahan pada nilai BER vs E_b/N_0 yaitu sebesar 10^{-3} untuk F_d 0.06.

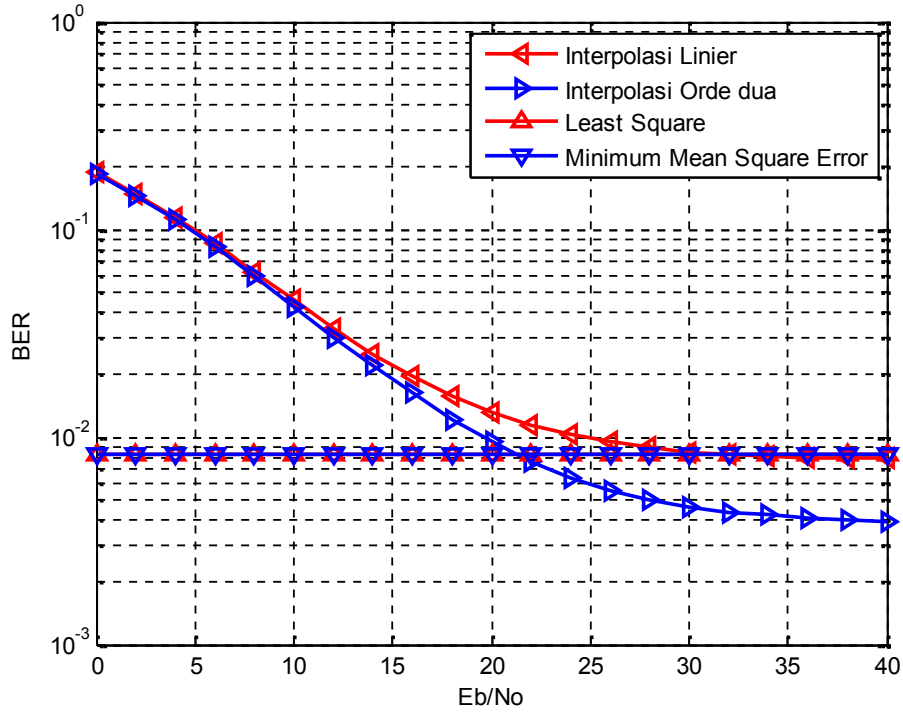


Gambar 4.5 Grafik BER vs E_b/N_0 Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* untuk pilot blok dan *comb* dengan $F_d = 0.09$

Dari simulasi yang dilakukan seperti gambar 4.5. Kinerja estimasi kanal yang diukur berdasarkan nilai BER vs E_b/N_0 pada pilot tipe blok. Nilai BER untuk LS dan MMSE mencapai nilai BER 10^{-2} untuk frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.09. Untuk estimasi kanal dengan pilot tipe *comb* menggunakan interpolasi linier dan interpolasi orde dua dimana untuk interpolasi linier tidak mampu mencapai nilai BER 10^{-3} , Hanya mampu mencapai BER 10^{-2} yaitu dengan membutuhkan nilai E_b/N_0 sebesar 18 dB dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.09.

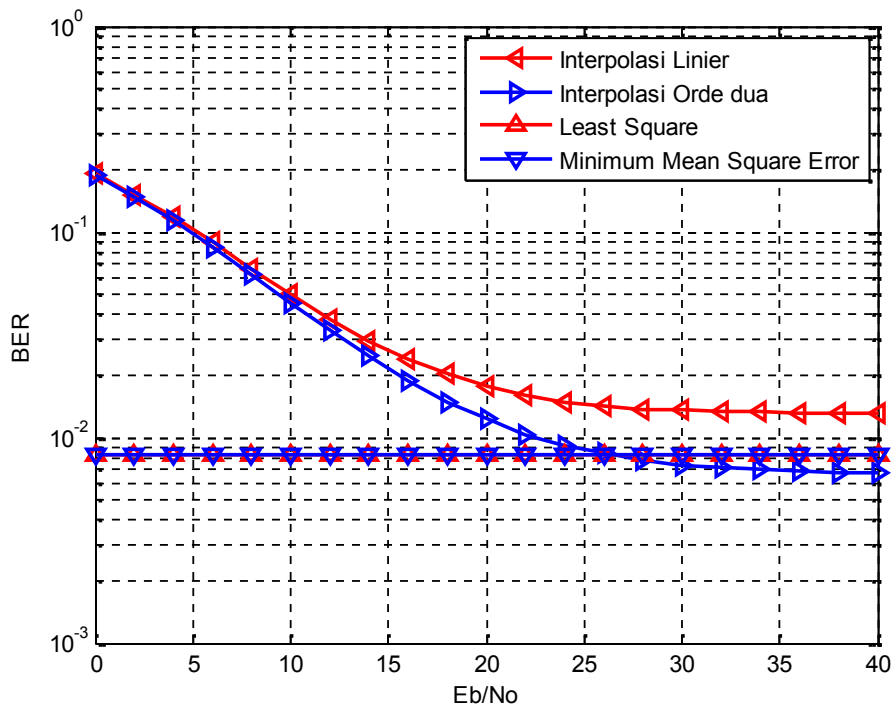
Sedangkan pada interpolasi orde dua juga tidak mampu mencapai nilai BER 10^{-3} , Hanya mampu mencapai BER 10^{-2} dengan membutuhkan nilai E_b/N_0 sebesar 16 dB. Dengan demikian untuk *equalizer* berdasarkan BER pada interpolasi orde dua dengan

frekuensi *Doppler* (F_d) ternormalisasi 0.09 hanya mampu bertahan dengan nilai BER sebesar 10^{-2} dengan membutuhkan nilai E_b/N_0 sebesar 16 dB.



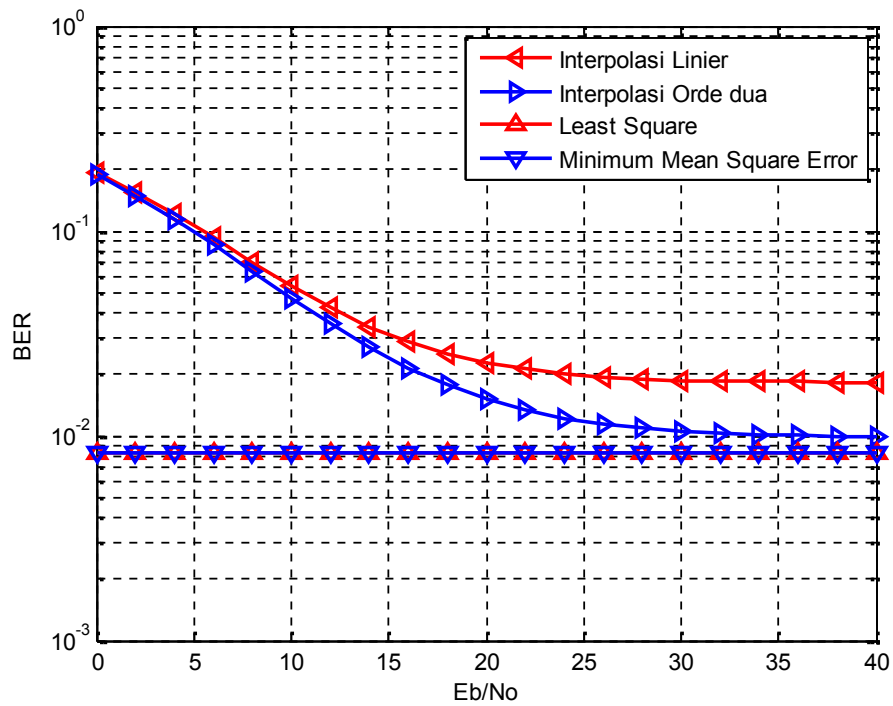
Gambar 4.6 Grafik BER vs E_b/N_0 Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* untuk pilot blok dan *comb* dengan $F_d = 0.12$

Gambar 4.6 menjelaskan nilai BER vs E_b/N_0 untuk estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok. Untuk LS dan MMSE dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.12 baik BER untuk LS dan MMSE tidak mengalami perubahan masih sama seperti gambar 4.4 dan 4.5 meskipun nilai F_d dibedakan. Sedangkan estimasi dengan pilot tipe *comb* menggunakan interpolasi linier dan interpolasi orde dua dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.12, untuk interpolasi linier nilai BER tidak mampu mencapai nilai 10^{-3} , Nilai BER yang mampu dicapai ialah sebesar 10^{-2} dengan membutuhkan nilai E_b/N_0 sebesar 25 dB. Pada interpolasi orde dua juga tidak mampu mencapai nilai BER 10^{-3} , Hanya mampu mencapai nilai BER 10^{-2} dengan membutuhkan nilai E_b/N_0 sebesar 20 dB. Dengan demikian *equalizer* berdasarkan BER untuk interpolasi linier dan interpolasi orde dua hanya mampu bertahan pada nilai BER 10^{-2} .

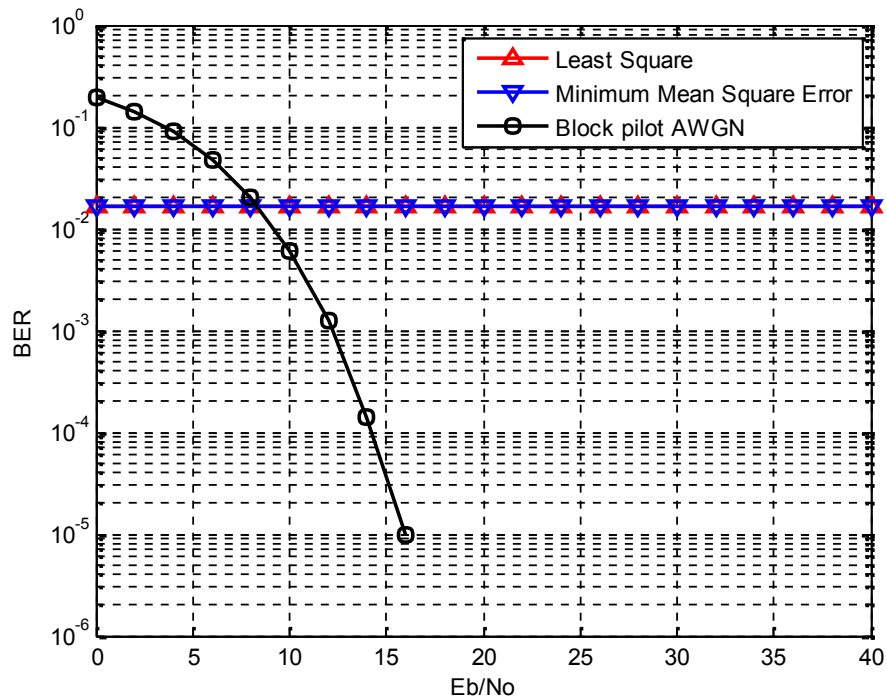


Gambar 4.7 Grafik BER vs Eb/No Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* untuk pilot blok dan *comb* dengan $F_d = 0.15$

Dari gambar 4.7 dapat dilihat estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok, untuk LS dan MMSE dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.15 juga tidak mengalami perubahan hanya mampu mencapai nilai BER 10^{-2} . Untuk estimasi kanal dengan pilot tipe *comb* menggunakan interpolasi linier dan interpolasi orde dua dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.15, interpolasi linier tidak mampu mencapai nilai BER sebesar 10^{-2} , Nilai BER yang mampu dicapai ialah lebih dari 10^{-1} dengan membutuhkan nilai Eb/No sebesar 5 dB. Untuk interpolasi orde dua juga tidak mampu mencapai nilai BER 10^{-3} , hanya mampu mendapatkan nilai BER sebesar 10^{-2} dengan nilai Eb/No sebesar 24 dB. Sedangkan untuk gambar 4.8 dapat dilihat bahwa untuk estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.18, untuk LS dan MMSE juga tidak mengalami perubahan. Sedangkan estimasi kanal dengan pilot tipe *comb* dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.18. Untuk interpolasi linier tidak mampu mencapai nilai BER 10^{-2} , Hanya mampu mencapai nilai BER sebesar 10^{-1} dengan nilai Eb/No sebesar 5 dB. Sedangkan untuk interpolasi orde dua mampu mencapai nilai BER 10^{-2} dengan nilai Eb/No sebesar 40 dB.

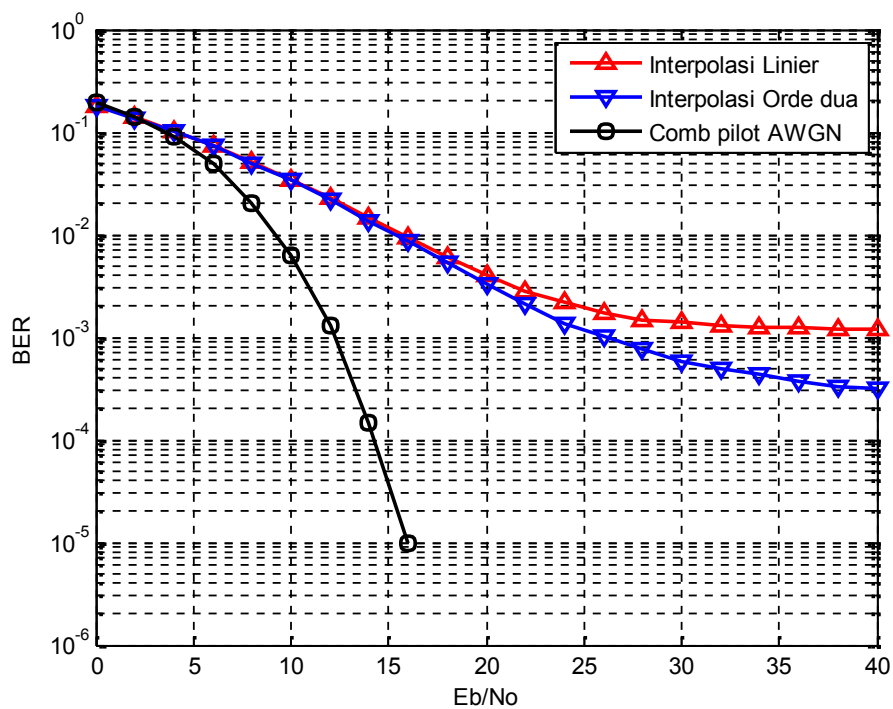


Gambar 4.8 Grafik BER vs Eb/No Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* untuk pilot blok dan *comb* dengan $F_d = 0.18$



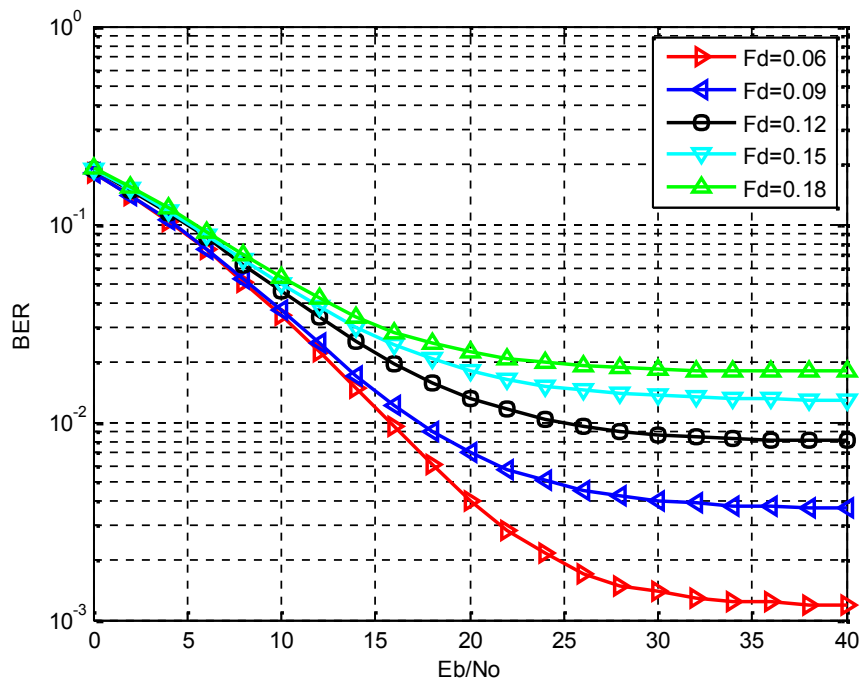
Gambar 4.9 Grafik BER vs Eb/No Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* Dan kanal AWGN untuk pilot blok dengan $F_d = 0.06$

Dari simulai yang dilakukan seperti gambar 4.9, Untuk menguji estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok maka akan disimulasikan dengan kanal AWGN. Dimana pilot tipe blok saat diuji dengan kanal AWGN mampu menghasilkan nilai BER 10^{-5} dengan nilai 16 dB. Ini membuktikan bahwa pilot tipe blok cocok jika diterapkan dengan model kanal *slow fading*. Namun saat diterapka pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* pilot tipe blok tidak mampu untuk mendapatkan hasil simulasi yang baik. Hanya mendapatkan hasil simulasi dengan nilai BER 10^{-2} meskipun dengan nilai frekuensi *Doppler* yang berbeda-beda.

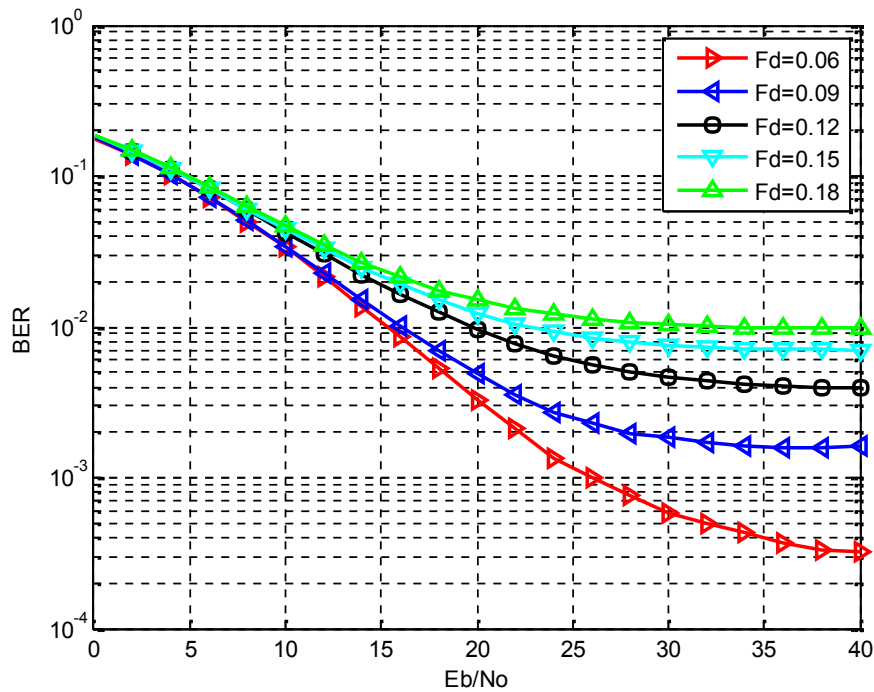


Gambar 4.10 Grafik BER vs Eb/No Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* Dan kanal AWGN untuk pilot *comb* dengan $F_d = 0.06$

Gambar 4.10 menjelaskan estimasi kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* dan AWGN berdasarkan pilot tipe *comb*. Saat melakukan simulasi baik untuk kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* dan AWGN simulasi mendapatkan hasil yang baik. Hal ini membuktikan bahwa pilot tipe *comb* mampu diterapkan dengan model kanal yang bersifat *fast fading* dan *slow fading*.



Gambar 4.11 Grafik BER vs E_b/N_0 Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* menggunakan interpolasi linier dengan $F_d = 0.06$ sampai 0.18



Gambar 4.12 Grafik BER vs E_b/N_0 Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* menggunakan interpolasi orde dua dengan $F_d = 0.06$ sampai 0.18

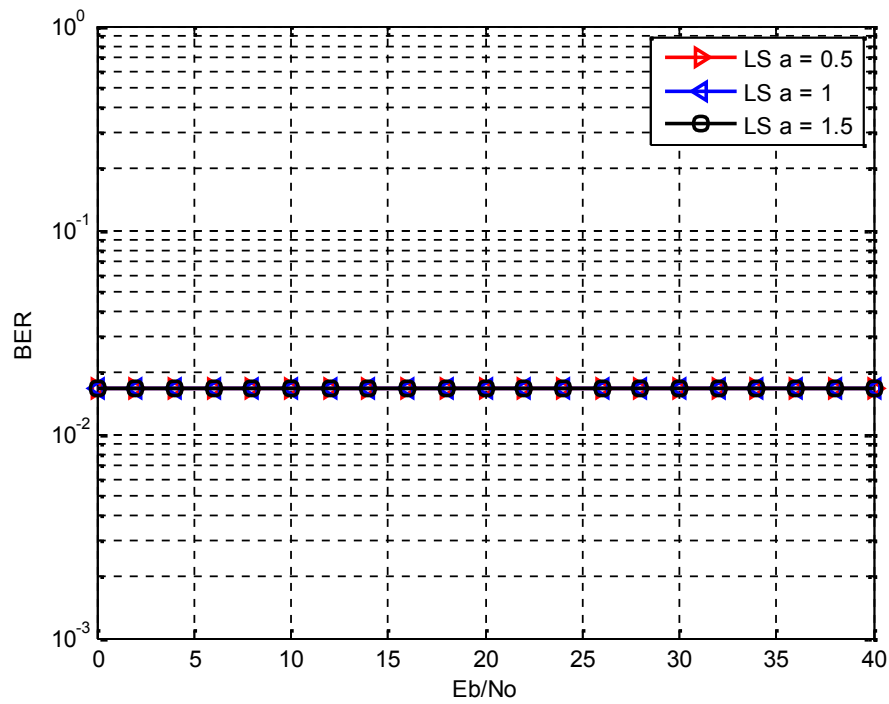
Gambar 4.11 tersebut menunjukkan perbandingan kinerja dari estimasi kanal dengan pilot tipe *comb* berdasarkan teknik interpolasi linier dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.06 sampai 0.18. Sedangkan gambar 4.12 menunjukkan perbandingan kinerja estimasi kanal untuk teknik interpolasi orde dua dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.06 sampai 0.18. Dari gambar 4.11 dan 4.12 dapat dilihat bahwa pengaruh dari frekuensi *Doppler* sangat mempengaruhi kinerja estimasi dan nilai BER vs E_b/N_0 .

4.7 Unjuk kerja estimasi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* berdasarkan pilot tipe blok dan *comb* pada BER vs E_b/N_0 dengan variabel a

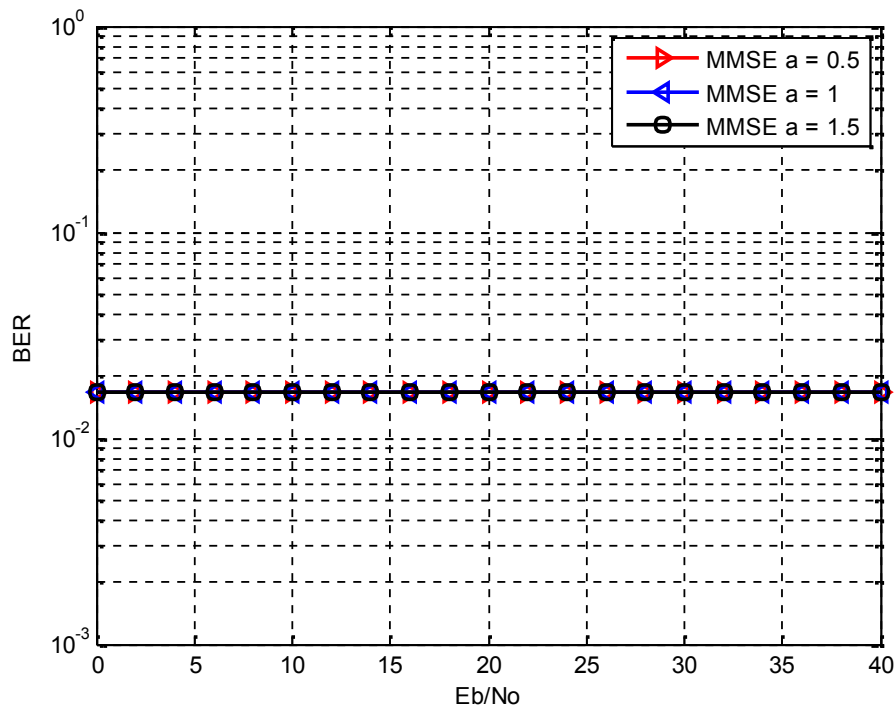
Pada simulasi ini juga akan dilakukan dengan membedakan variabel a pada estimasi kanal *mobile-to-mobile rayleigh fading* berdasarkan pilot tipe blok dan pilot tipe *comb* yang berguna untuk melihat seberapa besarnya pengaruh kinerja estimasi terhadap nilai BER yang disebabkan oleh frekuensi *Doppler*. Frekuensi *Doppler* ternormalisasi pada transmitter (Tx) yaitu merupakan F_{d1} dan frekuensi *Doppler* ternormalisasi pada receiver (Rx) yaitu merupakan F_{d2} . Pada simulasi ini variabel a berfungsi untuk membedakan antara nilai yang terdapat F_{d1} dan pada F_{d2} . Apabila nilai variabel $a = 0.5$ maka nilai F_{d1} yaitu pada transmitter (Tx) lebih besar dibandingkan dengan F_{d2} yaitu pada receiver (Rx), Sedangkan apabila nilai variabel $a = 1$ maka nilai F_{d2} sama dengan F_{d1} dan apabila nilai variabel $a = 1.5$ maka nilai F_{d2} memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai pada F_{d1} .

Perbedaan variabel a untuk estimasi kanal pada saat melakukan simulasi seharusnya memberikan efek terhadap nilai BER vs E_b/N_0 yang berbeda. Namun pada estimasi kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* berdasarkan pilot tipe blok untuk LS dengan variabel $a = 0.5$ yang berarti nilai F_{d1} lebih besar dibandingkan dengan F_{d2} . Untuk variabel $a = 1$ yang berarti bahwa nilai frekuensi *Doppler* memiliki nilai yang sama besar baik pada F_{d1} atau pun F_{d2} dan variabel $a = 1.5$ yang merupakan F_{d2} lebih besar dari F_{d1} juga tidak memberikan perbedaan nilai BER vs E_b/N_0 seperti pada gambar 4.13.

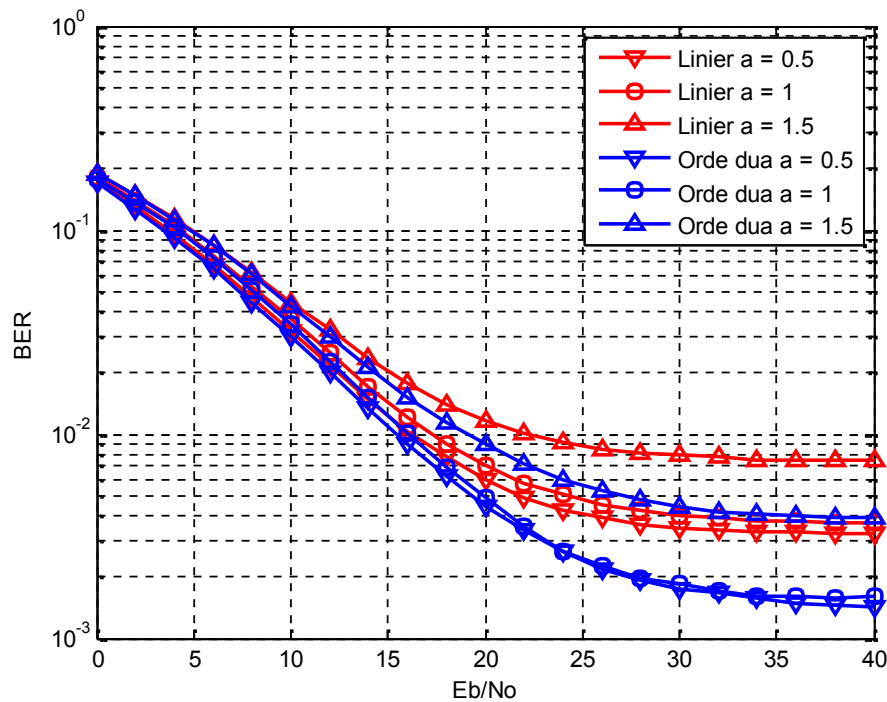
Seperti yang terjadi pada gambar 4.13 bahwa perbedaan variabel a tidak memberikan perbedaan pada nilai BER, Pada gambar 4.14 juga terjadi hal yang sama untuk teknik MMSE bahwa perbedaan baik variabel $a = 0.5$, 1 dan 1.5 juga tidak mempengaruhi nilai BER vs E_b/N_0 .



Gambar 4.13 Grafik BER vs E_b/N_0 Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* menggunakan LS dengan nilai $F_d = 0.06$ pada variabel a yg berbeda



Gambar 4.14 Grafik BER vs E_b/N_0 Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* menggunakan MMSE dengan nilai $F_d = 0.06$ pada variabel a yg berbeda



Gambar 4.15 Grafik BER vs Eb/No Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* menggunakan interpolasi linier dan orde dua dengan nilai $F_d = 0.09$ pada variabel a yang berbeda

Dari gambar 4.15 dapat dijelaskan bahwa nilai BER vs Eb/No pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* dengan pilot tipe *comb* berdasarkan variabel a yang berbeda-beda dengan menggunakan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.09 yaitu untuk interpolasi linier dan interpolasi orde dua dengan nilai variabel $a = 0.5$ memiliki nilai BER yang lebih baik dibandingkan dengan nilai variabel $a = 1$ dan variabel $a = 1.5$.

4.8 Analisa hasil simulasi

Dari simulasi yang telah dilakukan dapat dianalisa bahwa kinerja dari estimasi kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* berdasarkan pilot tipe *comb* sangat dipengaruhi teknik interpolasi yang digunakan dan frekuensi *Doppler* yang terdapat pada kanal. Untuk frekuensi *Doppler* 0.06 memiliki kinerja paling baik dibandingkan frekuensi *Doppler* 0.09, 0.12, 0.15 dan 0.18. Dengan demikian estimasi kanal pilot tipe *comb* bergantung pada besarnya frekuensi *Doppler* yang digunakan. Semakin besar frekuensi *Doppler* maka semakin besar tingkat *error* yang terjadi. Namun untuk estimasi kanal *mobile-to-mobile*

Rayleigh fading berdasarkan pilot tipe blok, frekuensi *Doppler* yang diberikan tidak berpengaruh pada pengujian kinerja berdasarkan MSE atau pun pada nilai BER vs Eb/No. Bahkan pada saat frekuensi *Doppler* dengan nilai yang kecil menghasilkan *error* yang besar dan begitu juga sebaliknya. Pada saat pilot tipe blok disimulasikan dengan menggunakan kanal AWGN mampu menghasilkan nilai BER 10^{-5} dengan 16 dB. Ini membuktikan bahwa pilot tipe blok tidak bekerja dengan baik apabila diterapkan pada kanal yang bersifat *fast fading* dikarenakan pilot tipe blok lebih bersifat *slow fading*.

Berbeda dengan estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok, pilot tipe *comb* efek dari frekuensi *Doppler* sangat berpengaruh baik pada kinerja estimasi dengan MSE maupun dengan nilai BER vs Eb/No. Ini terbukti bahwa interpolasi orde dua memiliki kinerja paling baik yaitu dilihat dengan *equalizer zero forcing* berdasarkan BER vs Eb/No mampu bertahan dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.12, yaitu dengan nilai BER 10^{-2} dan nilai Eb/No sekitar 20 dB. Sedangkan untuk interpolasi linier pada frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.12 mencapai nilai BER lebih dari 10^{-2} dengan nilai Eb/No sekitar 25 dB.

Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* F_{d1} yang terdapat pada transmitter lebih besar dari F_{d2} memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan F_{d1} lebih kecil dari F_{d2} dan F_{d1} sama dengan F_{d2} . Namun saat melakukan simulasi pada estimasi kanal dengan menerapkan variabel a yang berbeda, untuk estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok tidak memberikan efek kinerja estimasi. sedangkan untuk estimasi kanal berdasarkan pilot tipe *comb* saat menggunakan variabel a yang berbeda memberikan efek yang berbeda dimana dengan variabel $a = 0.5$ menghasilkan BER yang lebih baik dibandingkan dengan variabel $a = 1$ dan 1.5 .

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan dari penelitian ini bahwa:

1. Estimasi kanal berdasarkan pilot tipe *comb* sangat dipengaruhi oleh besarnya frekuensi *Doppler* yang digunakan. Semakin besar frekuensi *Doppler* yang diberikan maka akan semakin besar *error* atau selisih dari respons impuls kanal yang diestimasi. Sedangkan untuk pilot tipe blok besarnya frekuensi *Doppler* tidak mempengaruhi hasil estimasi kanal, karena pilot tipe blok tidak cocok diterapkan pada kanal yang bersifat *fast fading*. Pilot tipe blok cocok diterapkan untuk kanal yang bersifat *slow fading*. Hal ini terbukti ketika melakukan simulasi dengan menggunakan kanal AWGN dimana pilot tipe blok mampu mencapai BER 10^{-2} dengan Eb/No 9 dB.
2. Estimasi kanal berdasarkan pilot tipe blok untuk *least square* (LS) dan untuk *minimum mean square error* (MMSE) mampu mencapai nilai BER 10^{-2} dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.09 dan MSE sebesar 2.5248.
3. Estimasi kanal berdasarkan pilot tipe *comb* dengan frekuensi *Doppler* ternormalisasi 0.09 untuk interpolasi linier mampu mencapai BER 10^{-2} dengan Eb/No 18 dB dan MSE sebesar 0.0057. untuk interpolasi orde dua mampu mencapai nilai BER 10^{-2} dengan Eb/No 16 dB dan MSE sebesar 0.0029.
4. Pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading* berdasarkan susunan pilot tipe blok menggunakan variabel α , frekuensi *Doppler* pada transmitter dan frekuensi *Doppler* pada *receiver* tidak mempengaruhi hasil estimasi. Sedangkan pilot tipe *comb* menggunakan variabel α , frekuensi *Doppler* pada transmitter memiliki pengaruh lebih besar dibandingkan frekuensi *Doppler* pada *receiver*.
5. Kinerja estimasi berdasarkan susunan pilot tipe *comb* jauh memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan estimasi berdasarkan susunan pilot tipe blok saat diterapkan pada kanal *mobile-to-mobile Rayleigh fading*.

5.2 Saran

Penelitian dibidang estimasi ini kedepannya masih bisa dikembangkan lagi baik pada sisi estimasi maupun kanal yang digunakan serta menerapkan modulasi yang berbeda dan panjang FFT. Menerapkan teknik estimasi yang berbeda dengan menerapkan kinerja estimasi berdasarkan AIC. Sedangkan pada bagian kanal bisa menggunakan kanal yang berbeda seperti kanal SUI.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Dian Widi. 2012. "Analisa Simulasi Performansi Penggunaan Orthogonal Frequency Division Multiplexing Pada Sistem Digital Video Broadcasting-Terrestrial", *Universitas Mercu Buana*
- Abdillah, Kusuma. 2010. "Analisa Kinerja Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Berbasis Perangkat Lunak". *Institut Teknologi Sepuluh Nopember (PENS-ITS)*. <http://www.scribd.com/doc/57176562/Proposal-Skripsi>. <http://www.eepis-its.edu/uploadta/downloadmk.php?id=1161> (Akses Oktober 02, 2012)
- Fadhila, Wike Septi. 2008. "Pengaruh modulasi M-PSK pada unjuk kerja sistem orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)", Semarang, UNDIP. <http://eprints.undip.ac.id/25267/1/M.L2F004524.pdf> (Akses Oktober 03, 2012)
- Faisal, Muhammad. 2009. "Pengaruh Panjang Cyclic Prefix Terhadap Kinerja Sistem Ofdm Pada Wimax", Skripsi. Medan, *USU*
- Hermanto, Dudik. 2012. "Evaluasi Kinerja Teknik Estimasi Kanal Berdasarkan Pola Pengaturan Simbol Pilot Pada Sistem OFDM", Semarang, UNDIP. http://www.elektro.undip.ac.id/el_kpta/?page_id=178&nim=L2F008027 (Akses Oktober 03, 2012)
- Indris, Nelma Triani. 2009. "Analisis Performansi Cofdm (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Menggunakan Convolutional Coding Pada Kanal Awgn". Skripsi. Pekanbaru, UIN SUSKA RIAU.
- Ilyasa, Tito. 2007. "OFDM pada Komunikasi Digital Pita Lebar", *Universitas Indonesia*.
- Juliandy, Tonny. 2009. "Simulasi Teknik Pengkodean Regular Low Density Parity Check Code Pada Sistem MC-CDMA". Skripsi. Medan, *USU*.
- Kadaryanto, Muhroni. 2012. "Estimasi Blind Carrier Frequency Offset Pada Sistem Ofdm Dengan Modulus Konstan". Surabaya, ITS.
- Naim M, Muh khaerul. 2011. "Estimasi doppler spread pada sistem orthogonal frequency Division multiplexing (OFDM) dengan metode subspace Tracking". Surabaya, ITS.
- Miah, Md Sipon end Rahman, M Mahbubur end Godder T.K end Singh, Bikash Chandra end Parvin M.Tania. 2011. "Performance Comparison of AWGN, Flat Fading and Frequency Selective Fading Channel for Wireless Communication System using 4QPSK", ISSN 2078-5828 (PRINT), ISSN 2218-5224 (ONLINE), VOLUME 01, ISSUE 02, MANUSCRIPT CODE: 110125.
- Mulyono. 2012. "Estimasi Kanal Mobile-To-Mobile Dengan Pendekatan Polinomial Untuk Mitigasi Ici Pada Sistem Ofdm" Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Patel, Chirag S. 2006. "*Wireless Channel Modeling, Simulation, and Estimation*", Thesis School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology.
- S. Coleri, E. Mustafa, P. Anuj, B. Ahmad. 2002 .“A Study of Channel Estimation in OFDM Systems”, IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 2, pp. 894-898.
- Talha, batool. 2010. "*Mobile-to-Mobile Cooperative Communication Systems: Channel Modeling and System Performance Analysis*", University of Agder Faculty of Engineering and Science.
- Wang, Fei. 2011. "*Pilot-Based Channel Estimation in OFDM System*", Thesis University of Toledo.
- Wang, Li-Chun (2009), "Statistical Analysis of a Mobile-to-Mobile Rician Fading Channel Model", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 58, No. 1.

